



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV POČÍTAČOVÝCH SYSTÉMŮ

DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

UNIVERZÁLNÍ ČASOMÍRA PRO HASIČSKÝ SPORT

TIME MEASUREMENT SYSTEM FOR FIRESPORT COMPETITIONS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. TOMÁŠ PELKA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK VAŠÍČEK, Ph.D.

BRNO 2018

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav počítačových systémů

Akademický rok 2017/2018

Zadání diplomové práce

Řešitel: **Pelka Tomáš, Bc.**

Obor: Počítačové a vestavěné systémy

Téma: **Univerzální časomíra pro hasičský sport**

Time Measurement System for Firesport Competitions

Kategorie: Vestavěné systémy

Pokyny:

1. Seznamte se s disciplínami hasičského sportu, požadavky týkajícími se příslušenství (startovací pistole, optická brána, apod.), způsoby vyhodnocení disciplín a výbavou běžně používaných časomír.
2. Navrhněte univerzální modulární systém, který umožní bezdrátové měření času vybraných disciplín hasičského sportu. Zaměřte se na následující aspekty: spolehlivost systému, přesnost měření, kompatibilitu s běžným příslušenstvím a využitelnost nejen pro závody, ale i trénink.
3. Zpracujte studii na výše uvedené téma.
4. Navržený systém implementujte formou prototypu. Sestavte několik testovacích scénářů, které ověří klíčové vlastnosti systému.
5. Vyhodnoťte parametry navrženého řešení a diskutujte dosažené výsledky.

Literatura:

- Dle pokynů vedoucího.

Při obhajobě semestrální části projektu je požadováno:

- Splnění bodů 1 až 3 zadání.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování diplomové práce naleznete na adrese

<http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva diplomové práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap, které byly vyřešeny v rámci dřívějších projektů (30 až 40% celkového rozsahu technické zprávy).

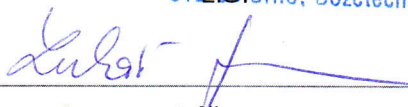
Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Vašíček Zdeněk, doc. Ing., Ph.D., UPSY FIT VUT**

Datum zadání: 1. listopadu 2017

Datum odevzdání: 23. května 2018

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav počítačových systémů a sítí
602 00 Brno, Božetěchova 2


prof. Ing. Lukáš Sekanina, Ph.D.
vedoucí ústavu

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem univerzální bezdrátové časomíry pro hasičský sport, což je skupina více než 15 disciplín. Způsoby měření času u jednotlivých disciplín jsou různé. Nedílnou součástí práce je proto detailní průzkum požadavků jednotlivých disciplín na samotnou časomíru, její příslušenství, a na způsoby měření sportovních výkonů. Následně je navržena specifikace bezdrátové časomíry, která obnáší vhodné rozdělení systému časomíry na bezdrátově komunikující moduly, a definici jednotného rozhraní pro připojení senzorů a příslušenství. Navržený systém je vhodný pro závody i trénink, doba přípravy časomíry před použitím je tak velmi krátká. Práce se dále zabývá návrhem elektroniky (mikroprocesorové a napájecí obvody) jednotlivých modulů, a stavbou prototypu. Zhotovený prototyp je podroben testování dle připravených testovacích scénářů. Zjištěné poznatky a nové požadavky následně vedou k návrhu další generace časomíry.

Abstract

This work deals with the design of universal wireless timer for fire sport disciplines. Fire sport is a group of more than 15 disciplines. There are different ways of time measurement for each discipline. Important part of this work is detailed research of individual disciplines and their requirements at time measurement system and its accessories. Another part of this work deals with the specification of wireless timekeeping system, which involves suitable partitioning of time measurement system into wirelessly communication modules. The interface for connecting sensors and accessories is also specified. Designed system is suitable for racing and training purposes, it has short installation time. This work also deals with the design of electronics (power and digital circuits) for each module and also with building of prototype, which is tested using prepared scenarios. New findings are evaluated and lead to design of next generation of time measurement system.

Klíčová slova

bezdrátová časomíra, hasičský sport, požární sport, požární útok, tréninková časomíra, Texas Instruments

Keywords

wireless time measurement system, wireless timekeeping system, firesport, fire sport, fire attack, training timer, Texas Instruments

Citace

PELKA, Tomáš. *Univerzální časomíra pro hasičský sport*. Brno, 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Vašíček, Ph.D.

Univerzální časomíra pro hasičský sport

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením pana doc. Ing. Zdeňka Vašíčka, Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Tomáš Pelka
22. května 2018

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Zdeňku Vašíčkovi, Ph.D. za vedení práce a odborné konzultace, za zapůjčení hardwaru (bezdrátových modulů) k testování a za přístup do laboratoře aplikovaných mikrokontrolérů. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Petru Matouškovi, Ph.D., M.A. za zpřístupnění spektrálního analyzátoru. V neposlední řadě děkuji spolubydlícímu Bc. Tomáši Pospíšilovi za přínosné postřehy a připomínky k samotnému projektu časomíry.

Obsah

1	Úvod	3
2	Disciplíny hasičského sportu a jejich měření	4
2.1	Hierarchické dělení	4
2.2	Požární útok (s vodou)	6
2.3	Překážkové běhy	8
2.4	Výstup do 4. podlaží cvičné věže	9
2.5	Požární útok (klasická disciplína CTIF)	10
2.6	Požární útok s překážkami CTIF (hra Plamen)	11
2.7	Štafeta požárních dvojic (hra Plamen)	12
2.8	TFA (Toughest Firefighter Alive)	12
2.9	ZPV (Závod požárnické všestrannosti)	13
2.10	Prvky používané pro měření	13
3	Specifikace bezdrátové časomíry	15
3.1	Definice požadavků	15
3.2	Průzkum již dostupných řešení	20
3.3	Rozdělení na bezdrátové moduly	26
3.4	Spolehlivé rozhraní pro senzory a příslušenství	28
3.5	Příklady sestav časomíry	32
4	Návrh hardware	34
4.1	Jednotná napájecí deska	34
4.2	Bezdrátové moduly	37
4.3	Hlavní jednotka	38
4.4	Cílový (periferní) modul	40
4.5	Zobrazovací modul	41
5	Návrh firmware	44
5.1	Bezdrátová komunikace	44
5.2	Metoda synchronizace hodin	45
5.3	Interní reprezentace času	49
5.4	Komunikační protokol – aplikační vrstva	50
5.5	Ovládání LED zobrazovacích panelů	51
5.6	Ovládání ostatních periférií	51
5.7	Programování mikrokontrolérů	52
6	Prototyp, testování	53

6.1	Prototyp časomíry	53
6.2	Dosah bezdrátových modulů	53
6.3	Experimentální ověření navrženého řešení	54
6.4	Praktické nasazení navrženého řešení	55
7	Další generace hardware	56
7.1	Propojení uvnitř modulů	56
7.2	Napájení a nabíjení	56
7.3	Hlavní jednotka	57
7.4	Periferní moduly	57
7.5	U všech modulů	58
7.6	LED zobrazovací panel	58
8	Závěr	60
	Literatura	61
A	Obsah CD	69
B	Přehled chyb při vyhodnocování signálů ze senzorů	70
C	Testovací scénáře, výsledky	72
C.1	Krátké měření za ideálních podmínek	72
C.2	Dlouhé měření za ideálních podmínek	73
C.3	Dočasné rušení signálu v průběhu měření	74
C.4	Dočasné rušení signálu během startovací nebo cílové události	75
D	Schémata, desky plošných spojů	76
D.1	Jednotná napájecí a nabíjecí deska – první verze	76
D.2	Hlavní jednotka – první verze	77
D.3	Mezidesky bezdrátových modulů	78
D.4	Cílový (resp. periferní) modul – první verze	78
D.5	Jednotná napájecí a nabíjecí deska – druhá verze	80
D.6	Hlavní jednotka – druhá verze	84
D.7	Periferní modul – druhá verze	88
D.8	LED zobrazovací panel	90
E	Fotky hotového prototypu	92
F	Plakát Excel@FIT	96

Kapitola 1

Úvod

Měření času v různých sportovních disciplínách je známé již dlouhou dobu. Výkony jednotlivců či družstev byly dříve měřeny mechanickými stopkami, které byly postupně nahrazovány různými elektronickými zařízeními. Tento vývoj jsem zaznamenal také v případě hasičských sportovních disciplín – z pohledu diváka, závodníka i rozhodčího. Všiml jsem si také různých nedostatků, což mě přivedlo k návrhu vlastní časomíry, která má zjištěné nedostatky eliminovat.

Jako jeden z problémů (a také historický přezitek) jsem viděl nutnost používat při měření času stovky metrů propojovacích kabelů. Proto jsem se ve své bakalářské práci [37] zabýval zejména bezdrátovou komunikací, která spolehlivě nahradí dlouhé propojovací kabely mezi prvky časomíry. Navržené řešení se podařilo úspěšně ověřit i za těžkých podmínek dočasného rušení bezdrátové komunikace.

Tato práce navazuje na mou dosavadní práci, a zabývá se návrhem a realizací sady bezdrátově komunikujících zařízení určených k měření času různých hasičských sportovních disciplín (zjednodušeně časomíra). Navrhovaná zařízení by měly být modulární, univerzální napříč disciplínami, a kompatibilní s běžně používaným příslušenstvím (startovací pistole, terče, optická brána apod.). Samozřejmostí by mělo být zajištění maximální spolehlivosti systému a požadované přesnosti měření. Časomíra by měla být využitelná nejen pro závody, ale i trénink (dobrá přenositelnost, krátká doba instalace, provoz z akumulátorů).

Pro návrh časomíry pro hasičský sport je nejdříve nutné seznámit se s jejich pravidly a způsoby měření – této problematice se věnuje kapitola 2. Následuje tvorba vysokoúrovňové specifikace bezdrátové časomíry pro spolehlivé měření vybraných disciplín, součástí je také průzkum již dostupných řešení (kapitola 3). Poté je možné pustit se do návrhu vlastního hardware jednotlivých modulů umožňující použití na závody i trénink (kapitola 4). Každý z modulů časomíry obsahuje mikrokontrolér, pro který je potřeba vytvořit firmware. Významnou společnou částí je bezdrátová komunikace a synchronizace hodin, kapitola 5 se dále zabývá ovládáním LED zobrazovacích panelů a dalšími softwarovými úkoly. Navržený systém časomíry je poté implementován formou prototypu, pro který jsou sestaveny testovací scénáře, kterými je prototyp ověřen (kapitola 6). Zjištěné poznatky a nové požadavky vedou k další iteraci vývoje, která začíná návrhem nové generace hardware v kapitole 7.

Kapitola 2

Disciplíny hasičského sportu a jejich měření

Abychom mohli správně navrhnout časomíru a její rozhraní pro připojení příslušenství (např. startovací pistole, terče, optické brány apod.), je nutné se nejprve seznámit s jednotlivými disciplínami, které má tato časomíra měřit.

V první podkapitole budou disciplíny hierarchicky rozděleny, v následujících podkapitolách se budu zabývat jednotlivými disciplínami a požadavky na jejich měření. Některé velmi podobné (a z hlediska měření času shodné) disciplíny budou pro zjednodušení popisu sloučeny. Cílem je zaměřit se na měření času, nikoliv na detaily provedení každé disciplíny – takové informace najdete v citovaných pravidlech [45, 46, 47, 48].

Při hodnocení některých disciplín jsou udělovány trestné časy např. za špatné provedení. Trestný čas udělují rozhodčí obvykle po skončení pokusu. Výsledný čas pokusu se počítá jako čistý běžecký čas (změřen elektronickou časomírou, nebo ručně stopkami), ke kterému se přičte trestný čas. Pro návrh elektronické časomíry není nutné uvažovat případný trestný čas, a nebudu se jím v této kapitole zabývat. Trestný čas se zohledňuje až při zpracování výsledků jednotlivých pokusů, což není součástí této práce.

2.1 Hierarchické dělení

Na začátek si hierarchicky uspořádejme disciplíny hasičského sportu. Dělení do skupin si někteří lidé pletou, a velmi často zaměňují hasičský a požární sport – pravděpodobně kvůli tomu, že si neuvědomují existenci jiných disciplín. Nepřesné informace jsou i na Wikipedii [81], já se budu držet hierarchického dělení disciplín dle SH ČMS (Sdružení hasičů Čech, Moravy a Slezska) [49, 44, 42, 43], které mi dává smysl, a zároveň souhlasí s dělením dle HZS (Hasičského záchranného sboru) [27, 26].

Na vrcholu pomyslné pyramidy je hasičský sport, který se dále dělí následovně:

1. Požární sport

- (a) Požární útok
- (b) Běh na 100 m s překážkami
- (c) Štafeta 4×100 m s překážkami
- (d) Výstup do 4. podlaží cvičné věže

2. Klasické disciplíny CTIF¹
 - (a) Požární útok (nasucho)
 - (b) Štafeta s překážkami
3. TFA (Toughest Firefighter Alive)
 - (a) Trať rozdělená na úseky
 - (b) Trať vcelku
4. Hra Plamen – mladí hasiči
 - (a) Požární útok Plamen
 - (b) Požární útok s překážkami CTIF
 - (c) Štafeta 4×60 m
 - (d) Štafeta CTIF
 - (e) Štafeta požárních dvojic
 - (f) Závod požárnické všestrannosti
 - (g) Běh na 60 m s překážkami
5. Dorostenecké disciplíny
 - (a) Požární útok
 - (b) Štafeta 4×100 m
 - (c) Běh na 100 m s překážkami
 - (d) Závod požárnické všestrannosti
 - (e) Dvojboj jednotlivců

¹Comité Technique International de prevention et d'extinction de Feu – Mezinárodní technický výbor pro prevenci a hašení požárů.

2.2 Požární útok (s vodou)

Požární útok (tzv. „královská disciplína“, znázorněn na fotce 2.1) se objevuje hned v několika kategoriích hasičského sportu. Do této podkapitoly shrnu požární útok dospělých (z kategorie požární sport), mladých hasičů (z kategorie hra Plamen) a dorostenců – způsob měření pokusu je totiž stejný. Požární útok s překážkami CTIF (hra Plamen) a požární útok (klasická disciplína CTIF) budou popsány později.



Obrázek 2.1: Požární útok dospělých na mistrovství ČR v roce 2017 [22]

Požární útok je skupinová disciplína, kterou plní obvykle 7 závodníků. Soutěže v požárním útoku se pořádají na rovné ploše, rozměry plochy a rozmístění materiálu se v jednotlivých kategoriích liší. Na obrázku 2.2 je náčrt závodní plochy pro kategorii muži. Jedná se o největší používanou plochu, vzdušná vzdálenost mezi startem, cílem a stolem časoměřičů bývá obvykle do 100 m.

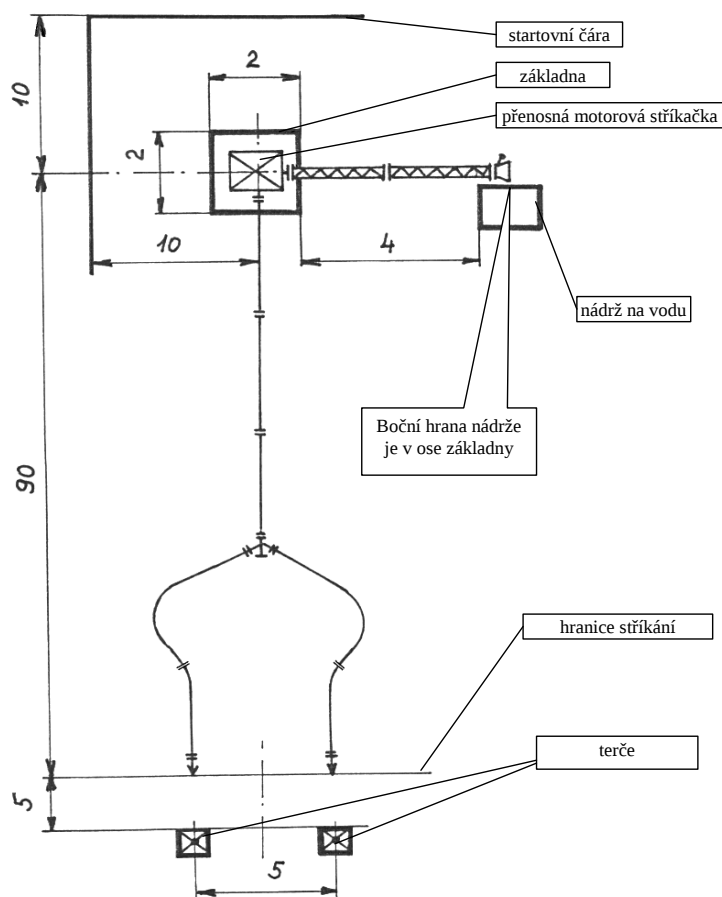
Plnění disciplíny začíná přípravou materiálu na základně, na kterou má družstvo 5 minut. Měření času přípravy provádí rozhodčí buď ručními stopkami, nebo elektronickou časomírou. Ovládací skříňka elektronické časomíry se obvykle nenachází blízko základny, ale buď u startovní čáry, nebo na stole časoměřičů. Pro její smysluplné použití při měření přípravy pokusu je vhodné použít dálkové ovládání.

Po dokončení přípravy se družstvo přesune na startovní čáru. Startování probíhá pomocí plynové (poplašné, startovací) pistole. Kontrolu předčasného startu provádí startér, nebo jeho pomocník. Pravidla nijak neupravují elektronickou kontrolu předčasného startu – je možno použít např. optickou bránu. Tento způsob kontroly startu se obvykle nepoužívá zejména kvůli komplikované zpětné vazbě startérovi, a také kvůli nemožnosti identifikovat konkrétního závodníka, který předčasně vyběhl.

Po odstartování začne družstvo plnit předepsané úkony. Měření času pokusu je ukončeno sražením obou terčů pomocí vodního proudu z proudnice. Časový limit na provedení pokusu činí 2 minuty. Terče jsou vybaveny zařízením, které závodníkovi a rozhodčím signa-

lizuje jejich sražení – např. mechanickým terčím, nebo rozsvícením signalizačního světla. Samotný srážecí mechanismus je konstruován různě, proto se liší i detekční zařízení pro časomíru – používají se mechanické nebo magnetické spínače, případně Hallovy sondy. U této disciplíny se musí předpokládat, že všechny prvky na terči mohou být vystaveny silnému proudu vody, a podle toho musí být zajištěn odpovídající stupeň krytí (bude popsáno později).

Přesnost měření je pravidly dána na 0,01 s. Výsledné časy se pohybují v řádu desítek sekund (často kolem 20 s).



Obrázek 2.2: Plánek trati disciplíny požární útok, kategorie muži [45]

2.2.1 Provedení dle jiných pravidel

Požární útok je natolik populární disciplína, že vznikly její modifikace. Některé ligy např. vyžadují přesné kalibrování mechanismu terčů (pravidla tuto problematiku totiž neřeší). Jednotlivé změny budou popsány v následujících odstavcích.

Na některých slovenských soutěžích se můžeme setkat se **startováním pomocí optické brány**. Na takových soutěžích není startér s pistolí, ale družstvo se odstartuje samo (smluveným signálem, povel). Čas pokusu se začíná měřit, jakmile některý ze závodníků protne optickou bránu, která se nachází pár desítek centimetrů za startovní čarou. Nutno připomenout, že šířka startovní čáry (a tedy i optické brány) činí 10 m.

Mezi netradiční provedení požárního útoku se řadí jeho provedení **ve ztíženém (např. kopcovitém) terénu**, nebo tzv. „za roh“ (kdy není přímá viditelnost mezi základnou a terčí). U tohoto provedení je nutné počítat s terénem zejména při použití bezdrátové časomíry, jejíž dosah může být ovlivněn překážkami nacházející se mezi jednotlivými bezdrátově komunikujícími moduly.

Zajímavým doplňkem je **měření mezičasu ponoření sacího koše** do nádrže s vodou. Tento mezičas je měřen obvykle pomocí vhodně umístěné optické brány. Další zajímavou modifikací je **měření sání**, kdy je vytvořeno pouze sací vedení z nádrže. Měří se čas, kdy se voda dostane ven z požární stříkačky, na jejímž hrdle je umístěno měřicí zařízení (obvykle klapka). U této varianty tedy neprobíhá srážení terčů.

2.2.2 Ruční měření (stopkami)

Pro zajímavost ještě zmíním způsob ručního měření této disciplíny, které se provádí stopkami. Pro tento způsob měření je potřeba několik časoměřičů – na každý terč ideálně 3. Čas se má začít měřit, jakmile vyletí z hlavně startovací pistole kouř. Díky tomu je možné eliminovat zpoždění způsobené rychlostí zvuku, protože vzdálenost mezi startem a cílem není zanedbatelná. I přesto se domnívám, že takový způsob měření může být značně nepřesný kvůli lidskému faktoru.

2.3 Překážkové běhy

Do této podkapitoly řadím následující disciplíny:

- běh na 100 m s překážkami (požární sport),
- štafeta 4×100 m s překážkami (požární sport),
- štafeta s překážkami (klasická disciplína CTIF),
- štafeta 4×60 m (hra Plamen),
- štafeta CTIF (hra Plamen),
- běh na 60 m s překážkami (hra Plamen),
- štafeta 4×100 m (dorost),
- běh na 100 m s překážkami (dorost),
- dvojboj jednotlivců (dorost).

Všechny vyjmenované disciplíny se pořádají na rovné ploše. Vzdušná vzdálenost mezi startem a cílem není větší než 100 m, vzdálenost ke stolu časoměřičů může být delší (max. o desítky metrů) – tato informace je užitečná pro návrh bezdrátové časomíry.

V této skupině disciplín se míchají běhy jednotlivců a štafety (které jsou složeny z více závodníků), jelikož jsou z hlediska měření času velmi podobné. Běhy jednotlivců probíhají na rovné, až 100 m dlouhé dráze (dle disciplíny). Štafetové běhy probíhají obvykle na oválné dráze, v některých případech je možno závodit člunkově. Každý jednotlivec (resp. štafeta) mají vyhrazenou jednu dráhu. Často bývá postaveno více drah paralelně – u štafet na ovále obvykle 2, u běhů jednotlivců to jsou 2–4 dráhy.



Obrázek 2.3: Běh na 100 m s překážkami na mistrovství ČR v roce 2017 [22]

Soutěžní pokus je startován startovací pistolí (zmíněna u požárního útoku). V případě, že je postaveno více drah, jsou všechny dráhy odstartovány jediným výstřelem. Kontrolu předčasného startu provádí startér, nebo jeho pomocník. Pravidla nijak neupravují elektronickou kontrolu předčasného startu – je možno použít např. optickou bránu.

Po odstartování závodníci vybíhají a plní danou disciplínu. Čas se měří každému závodníkovi (resp. štafetě) zvlášť. Každá závodní dráha má tedy v cíli vlastní optickou bránu, jejíž paprsek se nachází v předepsané výšce. Šířka dráhy (a tedy optické brány) v cíli činí 2 m.

Celkový čas na přípravu a provedení pokusu je omezen – v řádu jednotek minut (záleží na disciplíně). Přesnost měření je pravidly dána na 0,01 s. Výsledné časy se pohybují dle disciplíny v řádu desítek sekund (přibližně 15–90 s).

2.3.1 Měření mezičasů

U některých disciplín se nabízí různé možnosti měření mezičasů. Přestože tyto údaje neovlivní celkový výsledek, mohou být užitečné pro trénink, nebo pro zatraktivnění soutěže.

Konkrétní příklady mezičasů nejlépe vyplynou z popisu závodní dráhy (např. seběhnutí z kladiny, odložení hasicího přístroje). Technické řešení měření mezičasů není složité – lze použít zejména optické brány.

2.4 Výstup do 4. podlaží cvičné věže

Výstup do 4. podlaží cvičné věže (znázorněn na fotce 2.4) je individuální disciplína. I tato disciplína se pořádá na rovné ploše. Vzdušná vzdálenost mezi cílem a stolem časoměřičů bývá obvykle do 50 m. Podobně jako u překážkových běhů je možno i u této disciplíny postavit více drah paralelně – obvykle až 4.

Soutěžní pokus je startován startovací pistolí (zmíněna u požárního útoku). Kontrolu předčasného startu provádí startér, nebo jeho pomocník. Pravidla nijak neupravují elektronickou kontrolu předčasného startu. Použití optické brány by ovšem bylo komplikované,

jelikož závodník startuje s hákovým žebříkem, který může výrazně přesahovat startovní čáru. Ženy startují bez žebříku (mají jej předem zavěšený v prvním okně), kontrola předčasného startu pomocí optické brány by tedy byla možná.



Obrázek 2.4: Výstup do 4. podlaží cvičné věže na mistrovství ČR v roce 2017 [22]

Po odstartování závodníci vyběhají k věži a postupně za pomoci žebříku vystoupají do 4. podlaží (ženy do 1.) cvičné věže. Výstup se provádí po vnější straně věže, žebřík se zahákne za okenní parapet (okna jsou bez výplně). Cílovým oknem závodník vstoupí do věže, kde se na podlaže nachází cílové zařízení – mechanické spínací nášlapné desky. Nášlapné desky jsou půlené, pro ukončení pokusu je nutno došlápnout na obě poloviny (každá noha na jednu polovinu).

Celkový čas na přípravu a provedení pokusu je omezen na 2 minuty. Přesnost měření je pravidly dána na 0,01 s. Výsledné časy se pohybují v řádu desítek sekund (často kolem 20 s).

2.5 Požární útok (klasická disciplína CTIF)

Tento požární útok je také skupinová disciplína. Na rozdíl od dříve popsaných požárních útoků se zde nepoužívá voda. Tato disciplína se pořádá na rovné ploše, vzdušná vzdálenost mezi startem, cílem a stolem časoměřičů bývá obvykle do 100 m.

Soutěžní pokus může být měřen elektronickou časomírou, ke které se připojí velká tlačítka (tzv. „hříbky“). Jedno tlačítko (startovací) se nachází na startu, druhé tlačítko (kon-

cové) je umístěno na čáře rozdělovače. Startovací tlačítko obsluhuje hlavní rozhodčí, koncové tlačítko obsluhuje závodník (vedoucí hadicové skupiny).

Omezení času provádění pokusu jsem v pravidlech nenalezl. Přesnost měření elektronické časomíry je dána na 0,01 s. Výsledné časy se pohybují v řádu desítek sekund (kolem 1 minuty).

2.6 Požární útok s překážkami CTIF (hra Plamen)

I tento požární útok je skupinová disciplína, která se pořádá na rovné ploše, vzdušná vzdálenost mezi startem, cílem a stolem časoměřičů bývá obvykle do 100 m.



Obrázek 2.5: Požární útok CTIF na mistrovství ČR v roce 2017 [20]

Soutěžní pokus může být měřen elektronickou časomírou (dle pravidel se má měření provádět podle aktuálně platných mezinárodních pravidel), často se ještě setkáváme s měřením ručními stopkami.

Měření pokusu elektronickou časomírou se spustí, jakmile některý ze závodníků protne optickou bránu umístěnou na startovní čáře. Členové družstva jsou přitom nastoupeni 0,5 m před startovní čarou (tato vzdálenost je vymezena další čarou), aby nedošlo k nechtěnému spuštění časomíry. Šířka dráhy (a tedy optické brány) na startu činí 2 m.

Po odstartování plní družstvo disciplínu, ve které se mj. stříká voda do terčů. Tyto terče sice opticky i akusticky signalizují naplnění vodou, nejedná se ovšem o konec pokusu, proto tyto terče nejsou připojeny k časomíře. Pokus ukončuje až velitel družstva stisknutím tlačítka („hříbku“), které je umístěno ve čtvrtém (posledním) úseku dráhy.

Celkový čas na přípravu je omezen na 5 nebo 10 minut. Omezení času provádění pokusu jsem v pravidlech nenalezl. Přesnost měření elektronické časomíry je dána na 0,01 s. Výsledné časy se pohybují v řádu desítek sekund (kolem 1 minuty).

2.7 Štafeta požárních dvojic (hra Plamen)

Štafeta požárních dvojic je skupinovou disciplínou, kterou plní 5 nebo 9 členů družstva. Disciplína se pořádá na rovné ploše, start a cíl se nacházejí na stejném místě.

Pro měření času pokusu se mohou používat ruční stopky, je však možné měřit také elektronickou časomírou. V případě použití elektronické časomíry je družstvo odstartováno startovací pistolí (zmíněna u požárního útoku).

Po odstartování vybíhá velitel družstva, oběhne metu a vrátí se. Po návratu velitele vybíhá první dvojice závodníků, provede předepsané úkony, vrátí se, a vybíhá druhá dvojice závodníků. Pokus je ukončen, jakmile poslední člen z druhé dvojice proběhne cílem. V průběhu pokusu je kontrolováno předčasné vyběhnutí závodníků.

Z výše uvedeného popisu disciplíny není přesně jasné, jak má být pokus elektronicky měřen. Start i cíl jsou na jednom místě, které je sledováno optickou bránou. Touto branou však v průběhu pokusu probíhají závodníci, a je třeba rozeznat, kdy signál z optické brány znamená konec měření pokusu. O to se stará rozhodčí, který pomocí tlačítka blokuje funkci optické brány. Šířka optické brány není pravidly určena, obvykle se pohybuje kolem 5 m (šířka dráhy pro tuto disciplínu odpovídá čtyřem atletickým drahám, každá z nich má 1,22 m).

Celkový čas na přípravu je omezen na 2 minuty. Omezení času provádění pokusu jsem v pravidlech nenalezl. Přesnost měření elektronické časomíry je dána na 0,01 s. Výsledné časy se pohybují v řádu desítek sekund (kolem 1 minuty).

2.8 TFA (Toughest Firefighter Alive)

TFA není přímo disciplína, ale spíše soutěž skládající se z několika disciplín. Soutěž dle pravidel HZS [25] může být sice skupinová, jednotlivé disciplíny ale plní jednotlivci. Bohužel jsou pravidla soutěží TFA velmi často upravována pořadateli, a s tím se mění i požadavky na měření času. Pokusím se tyto požadavky pojmut co nejvšeobecněji.

Jak již bylo zmíněno, soutěž se skládá z několika disciplín, které jsou řazeny do úseků. Soutěž může probíhat:

- **plynule** – závodník plní jednotlivé úseky bez přestávky,
- **odděleně** – po úsecích (každý úsek je měřen zvlášť), obvykle intervalovým způsobem.

Startování závodníků probíhá různě (dle propozic soutěže), časté je použití startovací pistole (zmíněna u požárního útoku), nebo tlačítka („hříbku“ – zmíněno u požárních útoků CTIF). Způsoby zastavení měření času v cíli jsou opět různé a setkáváme se s dosud známými metodami – optická brána, tlačítko, náslapné desky.

Soutěže TFA jsou zajímavé také terénem, ve kterém se konají. Trať může být vedena kolem budov i skrz ně. Obvykle poslední disciplína (výběh po schodišti výškové budovy) klade asi největší požadavky na elektronickou časomíru – potřeba propojit start a cíl. Na některých soutěžích dokonce nejsou start s cílem nijak propojeny, a zapisuje se pouze čas z přesných hodin. Přesnost (resp. nepřesnost) takového řešení bude později diskutována.

Speciálním požadavkem na časomíru je identifikace závodníků. Na trati některých soutěží může být totiž více závodníků, kterým je v cíli třeba přiřadit čas. Takové soutěže jsou obvykle měřeny pouhým zapisováním času z přesných hodin, elektronická časomíra nebývá používána.

Většina soutěží, se kterými jsem se setkal, je naštěstí postavena tak, že na trati (případně v daném úseku) je pouze jediný závodník. Díky tomu je pro elektronické měření času možné použít např. postup popsany u disciplíny požární útok CTIF, podobnost je vidět taky s dalšími zmíněnými disciplínami.

Soutěže TFA mívají obvykle omezený čas provádění pokusu (dle náročnosti a délky dráhy), toto omezení se pohybuje v řádu minut. Přesnost měření v pravidlech není dána, dle mého názoru by měla být lepší než 1 s. Měření s přesností 0,01 s (sjednoceno s dalšími disciplínami) by bylo zcela v pořádku.

2.9 ZPV (Závod požárnícké všestrannosti)

Závod požárnícké všestrannosti je skupinová disciplína, mezi hasiči je lidově nazývána „braňák“. Dráha této disciplíny je obvykle více než 1 km dlouhá, prochází kopcovitým terénem, lesy apod.

Startování závodníků probíhá intervalově, na trati se pohybuje několik hlídek². Hlídka postupně navštíví šest stanovišť, kde plní různé úkoly. V případě, že je stanoviště obsazeno jinou hlídkou, musí nově příchozí hlídka počkat – tento tzv. čekací čas jim rozhodčí změří a zapíše. Dále se hodnotí provedení úkolů, za které mohou členové hlídky obdržet trestné minuty.

Měření času hlídky probíhá tak, že se zapíše čas startu, a čas přiběhnutí posledního člena hlídky do cíle. Výsledný čas je rozdíl mezi časem v cíli a na startu, od kterého se ještě odečte suma čekacích časů na trati, a přičtou se trestné minuty za špatně provedené úkoly.

Z výše popsaného způsobu hodnocení disciplíny je zřejmé, že použití jednoduchých elektronických prvků (jako jsou optické brány, nebo tlačítka) není pro kompletní měření dostatečné. U této disciplíny je nutné zajistit identifikaci závodníků (hlídek), a taky spoustu vstupů od rozhodčích.

Měření této disciplíny elektronickou časomírou není popsáno v pravidlech, nezpozoroval jsem ani pokusy o taková měření. Touto disciplínou se proto nyní zabývat nebudu.

2.10 Prvky používané pro měření

V předchozích podkapitolách jsem prozkoumal jednotlivé disciplíny. Zjistil jsem, že pro startování disciplín se používají některé z následujících prvků:

- **startovací pistole**;
- **optická brána** – šířka 2 nebo 10 m (dle disciplíny);
- **tlačítko** – velké tlačítko (tzv. „hříbek“).

V cíli (pro ukončení disciplíny a měření mezičasů) se používají některé z následujících prvků:

- **optická brána** – šířka 2 nebo 5 m (dle disciplíny);
- **tlačítko** – velké tlačítko (tzv. „hříbek“);
- **terč** – jako senzor se používá magnetický, nebo mechanický spínač, Hallova sonda;
- **nášlapné desky** – mechanický spínač.

V tabulce 2.1 jsou shrnuty disciplíny a možné způsoby jejich měření.

²Hlídka je pojmenování skupiny závodníků

Disciplína	Start			Cíl			Počet drah
	Výstřelem z pistole	Optickou bránou	Tlačítkem (ručně)	Optickou bránou	Tlačítkem (ručně)	Speciálním systémem	
Požární sport							
Požární útok	✓	✓				✓	1
Běh na 100 m s překážkami	✓			✓			1–4
Štafeta 4×100 m s překážkami	✓			✓			1–2
Výstup do 4. podlaží cvičné věže	✓					✓	1–4
Klasické disciplíny CTIF							
Požární útok (nasucho)	✓		✓		✓		1
Štafeta s překážkami	✓			✓			1–2
Hra Plamen – mladí hasiči							
Požární útok Plamen	✓					✓	1
Požární útok s překážkami CTIF		✓			✓		1
Štafeta 4×60 m	✓			✓			1–2
Štafeta CTIF	✓			✓			1–2
Štafeta požárních dvojic	✓			✓			1–2
Závod požárnické všestrannosti							
Běh na 60 m s překážkami	✓			✓			1–4
Dorostenecké disciplíny							
Požární útok	✓					✓	1
Štafeta 4×100 m	✓			✓			1–2
Běh na 100 m s překážkami	✓			✓			1–4
Závod požárnické všestrannosti							
Dvojboj jednotlivců	✓			✓			1–4
TFA							
Trať rozdělená na úseky			✓		✓		
Trať vcelku			✓		✓		

Tabulka 2.1: Přehled disciplín a možných způsobů jejich měření

Kapitola 3

Specifikace bezdrátové časomíry

V předchozí kapitole byly popsány jednotlivé disciplíny a způsoby jejich měření. S těmito znalostmi je nyní možné začít specifikovat elektronickou časomíru vhodnou pro měření času vybraných disciplín.

3.1 Definice požadavků

Na začátek je vhodné vytvořit si přehled o požadovaných funkcích a vlastnostech navrhované časomíry. Splnění požadavků na funkčnost či vlastnosti je možné provést více způsoby. Variantní řešení budou mezi sebou porovnány, budou popsány jejich výhody a nevýhody.

3.1.1 Podporované disciplíny

Časomíra musí být schopna měřit všechny v tabulce 2.1 zmíněné disciplíny s výjimkou ZPV (Závod požárnícké všestrannosti). Výběr disciplín plyne z předchozí kapitoly, kde z početného seznamu disciplín hasičského sportu je drtivá většina z nich vhodná pro měření elektronickou časomírou.

Celkem se jedná o 18 disciplín, spousta z nich je však počítána vícekrát – podle věkové kategorie (např. požární útok mladých hasičů, dorostenců, dospělých). Může se zdát, že podpora takového množství disciplín je přehnaný požadavek. Mezi všemi těmito disciplínami je však možné najít velké množství společných prvků. Právě podpora takto velkého množství disciplín vede k návrhu univerzálního zařízení, které v budoucnu umožní snadnou implementaci dalších (dosud nezmíněných) disciplín i z jiných sportovních odvětví.

Do seznamu podporovaných disciplín patří (dělení na věkové kategorie je zde vypuštěno):

- požární útok (s vodou),
- běh na 100 m (resp. 60 m) s překážkami,
- štafeta 4×100 (resp. 60 m) s překážkami,
- výstup do 4. podlaží cvičné věže,
- požární útok CTIF,
- štafeta CTIF,
- disciplíny TFA,
- a další.

3.1.2 Přesnost měření

Přesnost měření času byla zkoumána už při popisu disciplín. Bylo zjištěno, že všechny disciplíny, které má časomíra podporovat, mají požadovanou přesnost měření 0,01 s (nebo lepší).

Některé amatérsky vyráběné časomíry se snaží měřit s přesností 1 ms (0,001 s). Problémem u tak vysoké přesnosti je zejména reakční doba senzorů a elektroniky. Např. poměrně drahá (cena kolem 2 000 Kč/ks) optická brána s tranzistorovým spínáním (SICK WL280-2P2431 [76] nebo SICK VL180-2P42431 [75]) má reakční dobu 1 ms. V případě použití optických bran s reléovým spínacím prvkem (např. PANASONIC NX5-RM7B [74]), se reakční doba prodlužuje až na 10 ms, cena se pohybuje také kolem 2 000 Kč/ks. Problémy s relativně dlouhou reakční dobou budou mít i jazýčkové spínače a jiné mechanické prvky. Z tohoto krátkého průzkumu senzorů plyne, že časomíra s udávanou přesností měření 1 ms této přesnosti nemůže dosáhnout právě kvůli použitým senzorům. Proto nemá smysl o tak vysokou přesnost usilovat.

Zajímavá je také úvaha pracující s rychlostí zvuku. Start většiny disciplín probíhajících ve více drahách je prováděn výstřelem z pistole. Např. při skupinovém startu běhu na 100 m s překážkami jsou závodníci rozmístěni na startovní čáře 2 m od sebe, startér stojí na kraji startovní čáry. V případě použití čtyř drah (běžný počet) je vzdálenost mezi startérem a posledním závodníkem cca 7 m. Výstřel ze startérové pistole tak poslední závodník uslyší za cca 21 ms (výpočet je proveden v 3.1 za pomoci [31]). Přesnost měření na 0,01 s je tak naprosto dostačující, nemá smysl požadovat větší přesnost.

$$\begin{aligned}v &= \frac{s}{t} \\t &= \frac{s}{v} \\v &= c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \\s &= 7 \text{ m} \\t &= \frac{7}{340} \doteq 0,021 \text{ s} = 21 \text{ ms}\end{aligned}\tag{3.1}$$

Zpoždění způsobené rychlostí zvuku a rozmístěním závodníků však pravidla požárního sportu nijak neřeší, v praxi se rychlost zvuku nezohledňuje ani na nejvyšších soutěžích. Řešením je instalace reproduktoru za každého závodníka, a použití elektronické startovací pistole – podobně jako na některých běžeckých disciplínách olympijských her. Jelikož pravidla hasičských sportovních disciplín nejsou připravena na takový způsob startování, pak jej prozatím nebudu řešit.

3.1.3 Kalibrace

Přesnost časomíry je nutné pravidelně kontrolovat, pro uznání národního rekordu musí mít časomíra potvrzení o kalibraci. Proto je nutné časomíru navrhnout tak, aby bylo možné snadno zkontrolovat (změřit) její přesnost. V případě zjištění odchylky je vhodné mít možnost časomíru zkalibrovat.

Přesnost časomíry je závislá zejména na přesnosti jejích interních hodin, které jsou řízeny obvykle hodinovým krystalem. Krystal jako elektronická součástka má určitou toleranci výroby a podléhá stárnutí [51]. Tolerance u běžných hodinových krystalů (např. výrobce

ILSI [71]) se pohybuje kolem 20 ppm¹. Stárnutí běžného krystalu se pohybuje kolem 5 ppm za rok.

Pokud bychom měli krystal se skutečnou odchylkou 20 ppm, tak k chybě na úrovni přesnosti měření (0,01 s) dojde za:

$$\Delta t = \frac{0,01}{20 \cdot 10^{-6}} = 500 \text{ s}$$

Vzhledem k tomu, že maximální doba provádění pokusu námi zkoumaných disciplín je v řádu minut, pak by bylo možné zmíněný krystal použít bez kalibrace. Musíme však zohlednit stárnutí krystalu (5 ppm za rok) a dalších součástek – zejména kondenzátorů, které slouží k doladění krystalu a zajištění jeho správného běhu.

Vzhledem k výrobním tolerancím součástek považují za nutné přesnost časomíry po její montáži zkontrolovat. Není bezpečné se slepě spoléhat na výrobní tolerance. Podle změřených hodnot se časomíra zkalibruje – buď softwarově (v případě malé odchylky), nebo hardwarově (výměnou kondenzátorů nebo samotného krystalu v případě větší odchylky). Dále je potřeba nastavit interval periodické kontroly, případně kalibrace časomíry.

Pro ověření přesnosti časomíry ji vybavíme výstupem 1PPS (1 pulse per second). Tento výstup bude každou vteřinu tvořit krátký puls, případně může každou vteřinu překloupat svůj logický stav – záleží na implementaci. Samotné ověření přesnosti je možné provést připojením výstupu 1PPS na kalibrovaný čítač.

3.1.4 Rozšiřitelnost, modularita

Některé ze zmíněných disciplín je možné provozovat ve více soutěžních drahách, narůstá tak počet vstupů (např. senzory) a výstupů (např. signalizace v cíli, zobrazování dosažených časů) časomíry. Požadavky na rozšiřitelnost je možné vyřešit několika způsoby:

1. Univerzálním zařízením disponující maximálním počtem vstupů/výstupů.
2. Několika speciálními zařízeními, každé z nich bude vhodné pro jiné použití – ignorování rozšiřitelnosti.
3. Modulární koncepcí – zařízení se bude skládat z proměnlivého počtu modulů, které je možné mezi sebou dle potřeby propojovat.

Je velmi pravděpodobné, že cena univerzálního zařízení s maximem vstupů/výstupů bude výrazně vyšší, než cena speciálního zařízení, které bude schopno měřit např. pouze požární útok. Ve chvíli, kdy však skutečně dojde k nutnosti rozšíření časomíry, se pořízení dalšího speciálního zařízení (např. s více vstupy) ve výsledku prodraží.

Kompromis mezi univerzálním zařízením s maximálními schopnostmi, a speciálním zařízením, je modulární koncepce. Systém by se mohl skládat z jedné hlavní jednotky, ke které se bude připojovat teoreticky libovolný počet ostatních (periferních, sekundárních) jednotek. Sekundární jednotky mohou sloužit například pro připojení další závodní dráhy, zobrazovacího panelu nebo jiného příslušenství.

Právě modulární koncepce se mi jeví jako ekonomicky rozumná, technicky zajímavá varianta, která má velký potenciál z hlediska budoucího rozšiřování funkcí a možností časomíry.

¹1 ppm (parts per million) = $1 \cdot 10^{-6}$ = 0,0001 %.

3.1.5 Použití na trénink i závody

Obvyklou součástí časomíry jsou propojovací kabely (až 100 m dlouhé) a akumulátory (např. olovené autobaterie). Jedná se o rozměrné a těžké příslušenství, které znesnadňuje využití časomíry pro trénink.

Propojovací kabely

Při popisu disciplín byla záměrně zmíněna vzdálenost mezi startem, cílem a případně stolem časoměřičů. To proto, že zmíněná místa je nutné nějakým způsobem propojit (na startu a v cíli jsou senzory, časoměřiči ovládají časomíru a zapisují výsledky). Tyto až 100 m dlouhé propoje jsou u drtivé většiny dostupných časomír kabelové (metalické).

Manipulace (rozmotání, roztažení, smotání) s propojovacími kabely tak zabírá drtivou většinu času přípravy časomíry. V případě konání závodů není dlouhá doba instalace problémem (závody trvají mnoho hodin). Avšak pro trénink (který trvá obvykle 1–2 hodiny) je časomíra s dlouhými kabelovými spoji nevhodná. Většina družstev proto při tréninku žádnou časomíru nepoužívá. Některá družstva, která mají vlastní tréninkové zázemí (hřiště) si pro do země položily kabely pro časomíru.

Kabelové (metalické) spoje mají nejen v odvětví hasičského sportu jednu velkou nevýhodu – snadno se poškodí. Vedou totiž podél závodních drah, kde je zvýšený pohyb závodníků i diváků. Kabely tak může nechtěně poškodit závodník – např. proslápnutím (u některých disciplín se používá obuv s hřeby – tretry). Zvýšený pohyb diváků kolem kabelů způsobuje jejich nadměrné opotřebení, poškození a následně způsobí problémy celému systému časomíry.

Stávající koncepce většiny na trhu dostupných časomír používá pro připojení každého senzoru zvláštní kabel. Tato koncepce limituje požadovanou rozšiřitelnost časomíry. Řešením by bylo použití sběrnice. Např. RS-485 [41] je průmyslová sériová sběrnice umožňující připojit až 32 zařízení na vzdálenost až 1 200 m pomocí dvou nebo čtyř vodičů. Zapojování zařízení na tuto sběrnici ale není triviální, protože je potřeba správně použít terminátory (zakončovací odpory). Jednotlivé uzly už však nejsou jen „hloupé“ (diskrétní) senzory. Každý uzel komunikuje po sběrnici pomocí mikrokontroléru, což zvyšuje cenu zařízení, ale nabízí další možnosti.

Můžeme třeba nahradit kabelové spoje bezdrátovou komunikací. Odpadnou tak problémy s dlouhou dobou přípravy (resp. úklidu) kabelů (časomíry). Objevují se ale problémy nové, je potřeba zajistit jejich řešení:

- spolehlivost přenosu,
- nedeterministické zpoždění při přenosu,
- odolnost proti dočasnému rušení signálu,
- párování modulů časomíry,
- možnost provozovat několik sestav časomíry na jednom sportovišti současně,
- bezpečnost komunikace,
- a další.

I přes všechny zmíněné problémy je bezdrátová komunikace jediným možným řešením, které umožňuje snadné použití pro trénink i závody. V následujících kapitolách se proto budu zabývat řešením zmíněných problémů.

Napájení

Časomíra je obvykle používána na hřištích, kde obvykle není k dispozici síťové napětí 230 V. Použití síťového napětí znesnadňuje také charakter některých disciplín – používá se voda, hrozilo by riziko úrazu elektrickým proudem. Proto jsou pro napájení používány akumulátory – obvykle olovené z osobních aut (napětí 12 V), které jsou poměrně těžké (např. akumulátor Bosch 12 V 45 Ah má hmotnost cca 12 kg [15]).

V případě pořádání soutěže je výhodou olovený akumulátor s velkou kapacitou – soutěž trvá několik hodin (někdy skoro celý den). Při tréninkovém použití je ale těžký akumulátor nepraktický. Navrhovaná časomíra by měla být vybavena vestavěným akumulátorem (nemusí být olovený), který umožní několikahodinový provoz (pro trénink). Při pořádání závodů (mnohahodinový provoz) musí být možné časomíru připojit k externímu zdroji napájení (např. síťový adaptér, velký akumulátor).

Zobrazení výsledků

Při použití časomíry na závodech je třeba zajistit informování závodníků a diváků o dosaženém čase soutěžního pokusu. K tomu se používají displeje složené z LED diod s vhodnou výškou znaků (číslic) – aby bylo dosaženo dobré čitelnosti i na větší vzdálenost (pro dobrou čitelnost na vzdálenost desítky metrů se v praxi používají displeje s výškou znaku alespoň 15 cm).

Některé na trhu dostupné časomíry mají velkoplošný displej jako nedílnou součást časomíry – jsou tak nevhodné na trénink. Zároveň je všeobecně problém s modularitou displejů – většinou není možné přidávat k časomíře další displeje, které budou rozmístěny např. na různých místech sportoviště.

Modulární koncepce navrhované časomíry by měla umožňovat provoz bez velkého displeje (např. při tréninku) – naměřený čas je možné zjistit z menšího LCD displeje na ovládací (primární) jednotce. Při použití časomíry na velké soutěži by měla být navrhovaná časomíra schopná komunikovat s více velkými displeji rozmístěnými na sportovišti, každý displej může zobrazovat čas jiné dráhy.

3.1.6 Odolnost proti vodě

Jak již bylo zmíněno v předchozí podkapitole, některé části časomíry bývají vystaveny vodě. Nejvyšší nároky na odolnost proti vodě tvoří disciplína požární útok – terče a zařízení na nich umístěné jsou přímo vystaveny proudu vody.

Na spoustě závodů došlo k problémům s měřením času právě kvůli vniknutí vody do elektroniky – zejména do konektorů, spínačů. Je proto potřeba zabývat se vhodnou ochranou proti vniknutí vody u jednotlivých modulů časomíry a jejího příslušenství. V tom nám pomůže norma ČSN EN 60529 [1, 82], která udává mj. stupně krytí vniknutím cizích předmětů, vody a jejich testování.

Bylo by dobré, aby všechny prvky časomíry měly odolnost alespoň proti dešti, což dle zmíněné ČSN normy znamená krytí IP43. Prvky časomíry, které budou vystaveny proudu vody při disciplíně požární útok pak musejí mít krytí alespoň IP67, protože se jedná o silný proud vody (tlak cca 12 bar) z trysky o průměru cca 12,5 mm.

3.2 Průzkum již dostupných řešení

V předchozích podkapitolách jsem často zmiňoval, jak je technicky řešená většina časomír. Je proto vhodné se nyní zaměřit na aktuálně dostupné časomíry a prozkoumat jejich vlastnosti. Nebude se jednat pouze o průzkum trhu, zaměřím se také na ostatní diplomové a bakalářské práce.

Drtivá většina časomír používá dlouhé kabelové spoje, zákazníci to považují za standard. U jednotlivých produktů tato nutnost propojení jednotlivých prvků časomíry není explicitně zmíněna. Pokud tedy v textu nebude napsáno, že se jedná o bezdrátový systém, pak chápejte časomíru jako klasickou – drátovou (vyžadující dlouhé kabely).

3.2.1 Průzkum trhu

TRV elektronik – Tomáš Kocáb

Firma TRV elektronik – Tomáš Kocáb [77] nabízí časomíry pro požární sport v různém provedení. Zajímavé jsou tyto produkty:

- **Časomíra 150 – sada:** Jedná se o časomíru s jednořádkovým displejem s výškou číslic 150 mm, který slouží jako hlavní jednotka. K displeji se připojují startovací a cílové senzory. Navržena je pro požární útok, takže dokáže měřit pouze 2 dráhy.

Cena vč. kabeláže, startovací pistole a cílových senzorů na terče: 20 889 Kč bez DPH.

- **Časomíra DUAL 260 (obrázek 3.1) – sada:** Jedná se o časomíru s dvouřádkovým displejem s výškou číslic 260 mm, který slouží jako hlavní jednotka. K displeji se připojují startovací a cílové senzory. Navržena je pro požární útok, takže dokáže měřit pouze 2 dráhy.

Cena vč. kabeláže, startovací pistole a cílových senzorů na terče: 34 490 Kč bez DPH.



Obrázek 3.1: Časomíra TRV elektronik – DUAL 260 [77]

- **Stolní model časomíry:** Jedná se o časomíru bez externího displeje (lze dokoupit a připojit zvlášť). K tomuto stolnímu modelu lze připojit pouze 1 startovací a 2 cílové senzory, takže je vhodný např. pro požární útok.

Cena (pouze přístroj, bez kabeláže a příslušenství): 6 820 Kč bez DPH.

Všechny zmíněné varianty produktů nutně vyžadují externí napájení 12 V, vestavěné akumulátory nejsou použity.

Zajímavým výrobkem je **optozávora s dálkovým přenosem**, která jako jediná z portfolia používá vestavěné akumulátory. Problémem je však bezdrátový přenos, který funguje na principu bezdrátového zvonku (odesílá se pouze impuls) – není tak zajištěna odolnost proti dočasnému rušení signálu, není eliminováno nedeterministické zpoždění při přenosu, nejsou použity techniky přístupu k médiu, při interferenci (např. v případě použití více zařízení současně) je pravděpodobná ztráta měřeného času, a další problémy.

Tento výrobce časomír patří současně na trhu mezi špičku, jeho časomíry využívající kabelové propoje jsou velmi často vidět na soutěžích. Odolnost proti vodě je zajištěna pouze u senzorů na terčích. Ostatní prvky nejsou odolné proti dešti, největší slabinou jsou dle mého názoru konektory bez patřičného krytí proti vodě (Neutrik XLR [34], řada XX) – viz. obrázek 3.2. Pro tréninkové účely je částečně vhodný stolní model časomíry, musíme však s sebou nosit externí akumulátor. Modularity ani rozšiřitelnosti jakou požadujeme v navrhované časomíře zde není možné dosáhnout.



Obrázek 3.2: Konektor Neutrik XLR [34]

Ing. Libor Valeš

Firma Ing. Libor Valeš [78] má v nabídce podobné portfolio produktů jako TRV elektronik [77]:

- **Časomíra 150 mm, 1 řádek:** Jedná se o časomíru s jednořádkovým displejem s výškou číslic 150 mm, který se připojuje k řídicí jednotce s malým LCD displejem. K časomíře lze připojit 1 startovací a 2 cílové senzory, takže je vhodná např. pro požární útok.

Cena velkého displeje, řídicí jednotky s LCD displejem, vč. kabeláže, startovací pistole a cílových senzorů na terče: 15 990 Kč vč. DPH.

- **Časomíra 150 mm, 2 řádky, další 2 displeje na terče** (obrázek 3.3): Jedná se o podobnou sestavu časomíry jako v předchozím bodě. Rozdíl je ve velkém zobrazovacím panelu, který má 2 řádky. Navíc jsou velké displeje pro umístění na terčích.

Cena vč. kabeláže, startovací pistole a cílových senzorů na terče: 30 990 Kč vč. DPH.

- **Časomíra s LCD displejem:** Jedná se pouze o řídicí jednotku časomíry, která je shodná s řídicími jednotkami z předchozích bodů. Vybavena je dvouřádkovým LCD displejem, takže ji lze použít pro trénink.

Cena (pouze přístroj, bez kabeláže a příslušenství): 4 590 Kč vč. DPH.

Časomíry od tohoto výrobce vypadají na první pohled podstatně hůře dílensky zpracované (např. proti produktům TRV elektronik [77]). Všechny zmíněné varianty produktů nutně vyžadují externí napájení, vestavěné akumulátory nejsou použity. Bezdrátová varianta časomíry není možná. Kromě prvků na terčích nejsou žádné další části časomíry voděodolné. Přes všechny zmíněná negativa je však výhodou nízká cena, a částečně modułární koncepce umožňující postupné rozšiřování časomíry (např. o další displeje). Časomíra je částečně vhodná i pro tréninkové použití – je však nutné vyřešit její externí napájení.



Obrázek 3.3: Časomíra Ing. Libor Valeš – 150 mm, 2 řádky, LED displeje na terčích [77]

Elektro Jiří Zdeněk

Firma Elektro Jiří Zdeněk [19] je na trhu s hasičskými časomírami poměrně nová. Tvrdí o sobě, že mají 100% přesnost, 100% záruku spolehlivosti, 0 % reklamací a že jsou jednička ve svém oboru.

Jejich prvním (a dosud aktivně nabízeným) produktem je model **EJZ001** – časomíra zobrazující se na notebooku. Umožňuje měřit 2 dráhy, jednoduchý software je k dispozici pro disciplínu požární útok. Propojení senzorů a notebooku je realizováno pomocí USB převodníku simulující stisk klávesy. Udávaná přesnost měření je 1 ms.

Konstruktor modelu EJZ001 si zjevně vůbec neuvědomuje, že časomíra nemůže spolehlivě měřit s udávanou přesností (1 ms), protože není možné spolehlivě zajistit včasnou reakci operačního systému Windows na stisk klávesy. Na fotkách zařízení je vidět, že obvod pro

připojení senzoru k notebooku postrádá jakoukoliv ochranu – např. proti vyššímu napětí, ESD², apod.

Za cenu 9 000 Kč včetně dopravy (DPH není na webu uvedeno, podobně jako IČ prodávajícího) se může jednat o informační tréninkovou časomíru. Její použití na závodech by bylo teoreticky možné – např. po připojení LCD monitoru. Přesnost a spolehlivost tohoto produktu si však proti tvrzení konstruktéra dovoluji zpochybnit.

Druhým výrobkem je model **EJZ002** – časomíra v LED displeji. Jedná se o časomíru s velkým víceřádkovým displejem. Určena je pro požární útok. Kvůli jejím rozměrům není vhodná pro trénink. Pro její provoz je potřeba externí napájení. Cena dvouřádkové varianty s výškou číslic 220 mm je 6 000 Kč.

Ani jeden produkt není voděodolný. Zpracování je amatérské – jsou použity univerzální desky plošných spojů, vyráběné DPS jsou bez povrchové úpravy (brzy podlehnou korozi). Celkově je vidět větší množství hrubých nedostatků.

Marek Kysela

Firma Marka Kysely [30] vyrábí časomíry pro různé sporty. Konkrétně pro požární sport to je varianta **Stopky AllinONE** (viz. obrázek 3.4).



Obrázek 3.4: Časomíra AllinONE od firmy Marek Kysela [30]

Tato časomíra se skládá z displeje, ke kterému se připojují všechny senzory a příslušenství. Napájení je z externího zdroje 12 V. I když je displej pouze jednořádkový, tak je možno měřit různé disciplíny požárního sportu až do počtu 4 drah (naměřené časy se na displeji střídají).

Jednořádkový displej o výšce znaků 170 mm je sice ve velmi tenké přístrojové skříni (hloubka pouze 40 mm). Zbývající rozměry (šířka 92 cm, výška 27 cm) ji však činí nevhodnou pro tréninkové použití. Skříň displeje se zdá být voděodolná (výrobce nezmiňuje), některé konektory však voděodolné nejsou.

Cena časomíry je 10 800 Kč vč. DPH, v ceně je zahrnut napájecí adaptér, kabely k autobaterii a ovládací skříňka.

KNĚZEK s.r.o.

Tato firma [29] byla dodavatelem různého hasičského zboží, mezi kterým byla i časomíra. Jednalo se o časomíru pro požární útok, jejíž nedílnou součástí byl velký dvouřádkový zobrazovací panel. Napájení bylo externí – např. z autobaterie. Technicky tato časomíra

²ESD – Electro Static Discharge, eliminace statické elektřiny.

nepřinesla nic nového, kvůli svým rozměrům není vhodná pro trénink. Cenu se mi nepodařilo zjistit – firma je v insolinci.

Další

Na trhu jsou ještě další výrobci časomír, ne všichni však znají hasičský sport. Zejména časomíry pro měření atletiky (běhů) mohou být použitelné i pro některé disciplíny hasičského sportu.

Např. firma ALGE-TIMING [5] se soustředí na atletiku, plavání a jiné disciplíny, měřit dokáže i bezdrátovým způsobem. Pro napájení slouží vestavěné akumulátory, je možno připojit i externí zdroj. Tyto časomíry mohou být velké přístroje včetně vestavěné tiskárny, nebo menší zařízení do ruky. Bezdrátové měření propaguje výrobce jako spolehlivé, jelikož funguje na principu datové komunikace (namísto pouhého impulsu). Dle popisu bezdrátové komunikace se však nepoužívá synchronizace hodin, což znamená, že po restartu zařízení (např. vlivem vybití baterie nebo zkratu) dojde ke znehodnocení naměřeného času. Cena časomíry pro měření plaveckých disciplín v jediné dráze (zařízení do ruky, žádný externí displej) však začíná na 4 000 €, tedy v přepočtu cca 100 000 Kč, což ji činí nedosažitelnou pro drtivou většinu hasičských sborů.

Hasičský záchranný sbor Moravskoslezského kraje disponuje kontejnerem pro požární sport [39]. Tento speciální kontejner (viz. obrázek 3.5) vyrobila na zakázku firma THT Polička. Uvnitř se kromě zázemí pro časoměřiče nachází také kompletní vybavení pro měření většiny disciplín požárního sportu – fotobuňky, došlapové desky, cílová brána, terče. Časomíra je vhodná pro velké soutěže v hasičských sportovních disciplínách, je taky vybavena velkoplošnými informačními LED tabulemi. Tato časomíra pochopitelně není vhodná pro trénink.



Obrázek 3.5: Kontejner pro požární sport od THT Polička [39]

3.2.2 Diplomové práce

Problematicou časomír pro hasiče se zabývalo také několik bakalářských a diplomových prací. Některé práce (např. bakalářská práce pana Vondráka [79]) se zabývaly návrhem a realizací časomíry využívající výhradně kabelové spoje, ale nepřinesly žádné převratné řešení (např. spolehlivější měření, detekce poškozeného kabelu, apod.), podporovaly jen malé množství disciplín, nebyly voděodolné, nebo nebyly vhodné pro trénink.

Podařilo se mi najít taky bakalářské a diplomové práce, které pro komunikaci se vzdálenými periferiemi (např. senzory na terčích) používají bezdrátovou komunikaci. U bezdrátové komunikace je však nutné zabývat se spolehlivostí a přesností měření za různých situací, proto nalezené práce rozdělím (od nejhorší po nejlepší):

- **Bez synchronizace, bez odolnosti proti rušení.** Jedná se např. o bakalářskou práci pana Novobilského [35], pana Janůše [28], nebo o diplomovou práci pana Frydrycha [21]. V případě, že dojde k dočasnému rušení komunikace, je měřený čas úplně ztracen, nebo znehodnocen. V případě nedeterministického zpoždění komunikace (např. kvůli metodikám přístupu k médiu) dojde ke znehodnocení měřeného času.
- **Se synchronizací, bez odolnosti proti rušení.** Do této kategorie bych zařadil např. diplomovou práci pana Holinky [24], která sice provádí synchronizaci, ale startovacím impulsem. Pokud je tento startovací impuls ztracen (např. vlivem dočasného rušení komunikace), pak je ztracen celý měřený čas.
- **Se synchronizací, odolné proti rušení.** Existují také práce, ve kterých si autoři uvědomili rizika bezdrátové komunikace a nějakým způsobem je vyřešili. Např. pan Šostý ve své diplomové práci [88] používá spolehlivou bezdrátovou komunikaci, pro synchronizaci zvolil algoritmus Reference Broadcast Synchronization [16, 17], která však potřebuje alespoň 3 bezdrátově komunikující moduly (což může být zbytečně omezení). Bratři Marek a David Gálovi ve svých bakalářských pracích použili spolehlivou bezdrátovou komunikaci, pro synchronizaci zvolili Precision Time Protocol [2] (i když implementovali jen malou, ale postačující část normy).

3.2.3 Závěr

Drtivá většina nalezených časomír používá dlouhé kabelové spoje, které znesnadňují použití časomíry pro trénink. Spousta časomír je naprosto nevhodná pro trénink kvůli svým rozměrům. Spolehlivost a odolnost proti chybám (např. přerušený, poškozený kabel, porucha spínače) obvykle není řešena.

Bezdrátové komerčně vyráběné časomíry neřeší otázku spolehlivosti přenosu dat, odolnosti proti rušení, ani přesnost měření. Tyto problémy mají také časomíry navrhované v bakalářských a diplomových pracích. Podařilo se mi sice najít pouze 2 časomíry realizované v rámci bakalářské a diplomové práce, které však (podobně jako komerční časomíry) neřeší další otázky týkající se spolehlivosti (např. možnost poškození kabeláže, poruchy senzoru), přesnosti (kalibrace) a další.

Asi nejvíce opomíjenými vlastnostmi časomíry jsou: možnost kalibrace (která se dle mého názoru řadí do pravidelné údržby) a dostatečná odolnost proti dešti (případně stříkající vodě u terčů).

Žádné z nalezených dostupných řešení není alternativou k této navrhované časomíře. V této práci navrhovaná časomíra bude řešit nové problémy, a měla by mít lepší vlastnosti, než dostupné produkty.

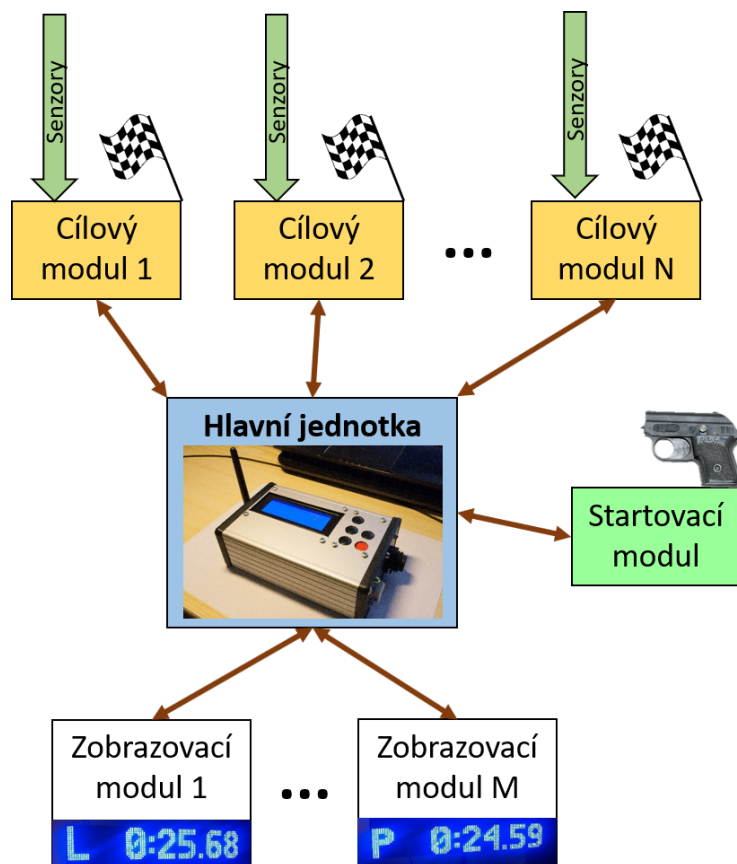
3.3 Rozdělení na bezdrátové moduly

V předchozích kapitolách jsem pro návrh časomíry zvolil modulární koncepci využívající bezdrátovou komunikaci. Nyní se budu zabývat specifikací konkrétních modulů časomíry.

Srdcem systému bude hlavní jednotka, ke které se připojují startovací, cílové senzory, a zobrazovací panel. Právě množství fyzických rozhraní pro připojení příslušenství jsme označili za jeden z nejvíce limitujících faktorů, který má zároveň významný podíl na ceně systému. Postupné rozšiřování časomíry o další rozhraní bude v nově navržené časomíře snadné díky modulární koncepci. Časomíra bude proto rozdělena na následující prvky:

- hlavní jednotka (právě 1),
- startovací modul (obvykle 1),
- cílové moduly (alespoň 1),
- zobrazovací moduly (volitelné).

Konkrétní provedení jednotlivých modulů může být různé (s ohledem na různé požadavky závodníků, nebo pořadatelů), avšak kompatibilní s hlavní jednotkou. Navržená topologie je znázorněna na obrázku 3.6, jedná se o hvězdicovou topologii. Všechny moduly komunikují s hlavní jednotkou bezdrátově.



Obrázek 3.6: Navržená topologie systému časomíry

3.3.1 Popis modulů (jednotek)

Hlavní jednotka

Hlavní jednotka je srdcem celého systému. Slouží k ovládání časomíry jako celku a proto je vybavena displejem (např. čtyřřádkový LCD displej) a navigačními tlačítky. Mezi operace ovládání časomíry patří např. zobrazení průběžného času, nulování, přenos výsledků do PC, nastavování parametrů ostatních modulů, aj. Každá sestava časomíry musí mít právě jednu hlavní jednotku.

Startovací modul

Startovací modul slouží k připojení startovacího senzoru, případně dalšího příslušenství. Startovací senzor může být např. pistole, optická brána, tlačítko. Dalším příslušenstvím mám na mysli např. zařízení pro kontrolu předčasného startu (optická brána, akustická signalizace). Lze taky vytvořit startovací modul s integrovaným senzorem – např. s mikrofonom pro snímání výstřelu ze startovací pistole, nebo s optickou bránou.

Vzhledem k tomu, že vzdálenost od startu ke stolu časoměřičů někdy bývá krátká (např. do 10 m), je možné postavit hlavní jednotku s integrovaným startovacím modulem. Výhodou takového řešení je nižší cena časomíry bez ovlivnění modularity. V případě, že bude později potřeba použít dedikovaný startovací modul, je možné jej bezdrátově spojit s hlavní jednotkou, a zvolit, zda se má použít integrovaný nebo dedikovaný startovací modul.

Startovací modul (ať už kombinovaný s hlavní jednotkou, nebo dedikovaný) je ve vybraných disciplínách hasičského sportu potřeba jeden. Systém je však modulární, a lze tak teoreticky připojit i více startovacích modulů. Následně je jen otázkou obslužného firmware, jak bude více startovacích modulů používáno.

Cílový modul

Cílový modul slouží k připojení cílového senzoru a příslušenství (podobně, jako startovací modul). Cílový senzor může být např. optická brána, terč (Hallův senzor), tlačítko. Dalším příslušenstvím mám na mysli např. optickou signalizaci sražení terče (spínané světlo).

Předpokládám, že cílových senzorů bude k časomíře připojeno více – pro každou dráhu (resp. terč) jeden. Zároveň počítám s tím, že může postupně vzniknout více provedení cílových modulů – např. cílový modul se 4 vstupy (pro 4 dráhy). Tato „granularita“ je závislá na využití cílového modulu – odhaduji, že při využití pouze pro překážkové běhy ve více drahách je levnější čtyř-vstupový cílový modul, zatímco univerzální použití (např. požární útok, TFA a překážkové běhy) si vynutí větší množství cílových modulů s jediným vstupem.

Rozdíl mezi cílovým a startovacím modulem může být celkem malý. Cílový modul tedy může být teoreticky použit jako startovací. Další možným využitím cílového modulu je kontrola předčasných startů v jednotlivých drahách, ke měření mezičasů, nebo pro jiné účely. Fyzicky se tedy jedná o cílový modul, logicky jej ale časomíra může interpretovat jinak (dle konfigurace).

Zobrazovací modul

Zobrazovací modul slouží k informování diváků a závodníků o průběžném a výsledném čase pokusu. Požadavky na zobrazování času jednotlivých disciplín na různých soutěžích

se zásadně liší. Jedním z parametrů je počet časů, které zobrazovací modul dokáže zobrazit – týká se např. disciplín ve více drahách. Samotné místo konání soutěže vytváří další požadavky na parametry zobrazovacích modulů – čitelnost na slunci, výška číslic, apod.

Setkal jsem se s různě umístěnými zobrazovacími panely – na terčích, na stojanu (ve výšce cca 2 m), v horní části čtyřpatrové věže, nad cílovými branami, apod. Vzhledem k rozmanitosti používaných řešení není možné navrhnout jediný zobrazovací modul, který by plně vyhovoval všem soutěžím. Rozdíly jsou však většinou v mechanické konstrukci zobrazovačů, komunikaci s hlavní jednotkou je možné navrhnout univerzálně.

3.3.2 Párování a konfigurace modulů

Navržené řešení je silně modulární a umožňuje taky půjčování jednotlivých modulů časomíry mezi závodními týmy, nebo pořadateli. Z několika menších sestav (např. pro trénink) je tak možné poskládat větší systém (např. pro pořádání soutěže). Tato myšlenka však vyžaduje systém párování modulů k hlavní jednotce.

Párování jednotlivých modulů k vybrané hlavní jednotce by mělo být jednoduché, bez zásahu do hardware. Při výrobě modulů je třeba každému z nich přiřadit unikátní identifikátor. Hlavní jednotka tak může provést průzkum sítě a nabídnout párování modulů.

Při párování modulů je však nutno myslet také na bezpečnost. Párování nemůže být umožněno automaticky, ale je třeba ho podmínit např. zadáním hesla daného modulu. Předejde se tak situaci, kdy se na soutěži současně nachází více sestav časomíry (pro každou disciplínu jiná) a obsluha omylem napárjuje špatnou jednotku např. v průběhu měření. Ještě horší situace by byla v případě úmyslného přepárování modulu útočníkem. Jedná se o bezdrátový systém a je proto nutné zabývat se otázkami bezpečnosti, to však až v kapitole o vývoji firmware.

Kromě párování fyzických modulů časomíry k hlavní jednotce je třeba identifikovat jednotlivé moduly na trati, a správně je přidělit do závodních drah. Výsledkem tohoto procesu je vytvoření skupiny modulů pro každou dráhu – tedy každé dráze je přiřazen její startovací modul (případně konkrétní vstup daného modulu), zobrazovací moduly (případně konkrétní řádek), moduly mezičasu.

3.4 Spolehlivé rozhraní pro senzory a příslušenství

Při popisu disciplín bylo zjištěno, že existuje velké množství kombinací senzorů, které se připojují k různým modulům časomíry. Proto jsem se rozhodl navrhnout univerzální rozhraní pro připojení senzorů. Toto rozhraní se bude snažit zachovat kompatibilitu s dosud používaným příslušenstvím dodávaným např. k jiným časomírám.

Při návrhu univerzálního rozhraní budu uvažovat alespoň tyto senzory:

- **Startovací pistole** s vestavěným mikrospínačem.
- **Akustický snímač výstřelu** ze startovací pistole.
- **Optická brána.**
- **Terče pro požární útok** (např. Hallův senzor, magnetický kontakt, apod.).
- **Nášlapné desky.**

Výše zmíněné senzory můžeme rozdělit na aktivní a pasivní. Pasivní senzory jsou čistě mechanickou záležitostí, výstupem jsou spínací nebo rozpínací kontakty. Aktivní senzory

vyžadují napájení a obsahují v sobě elektroniku. Požadovaným výstupem aktivního senzoru je nějaký spínací prvek (relé, tranzistor). Proto jsou aktivní senzory vybaveny elektronikou, která zajistí převod např. analogového signálu na požadovaný výstupní logický signál.

Startovací pistole s vestavěným mikrospínačem je na obrázku 3.7, jedná se o pasivní senzor. Mikrospínač je zapojen v režimu NO³, což znamená, že v klidu je rozepnutý, při výstřelu dojde ke krátkému sepnutí. Přestože je tato pistole vybavena 4-pinovým konektorem, tak jsou využity pouze 2. Není tedy možné včas detekovat, že pistole není připojena. Řešením by bylo použití přepínacího kontaktu (NO, NC⁴), což bude popsáno později.



Obrázek 3.7: Startovací pistole s mikrospínačem [83]

Akustický snímač výstřelu je aktivní senzor, který zpracovává signál z mikrofону a porovnává jej s nastavenou prahovou intenzitou zvuku. Vlastní elektroniku není třeba vyvíjet, protože se dá velmi levně (do 20 Kč) koupit z AliExpressu hotový modul [6].

Ostatní senzory (optická brána, magnetický kontakt) by měly být známé, proto jejich popis vynechávám.

3.4.1 Spolehlivost připojení senzorů

Může se stát, že se objeví problémy s připojením senzoru. Mezi často se vyskytující problémy patří voda v konektoru, poškozený kabel (zkrat, přerušení vodičů), nebo dokonce nezapojený senzor (např. kvůli vadné aretaci konektoru, nebo jen z nedbalosti).

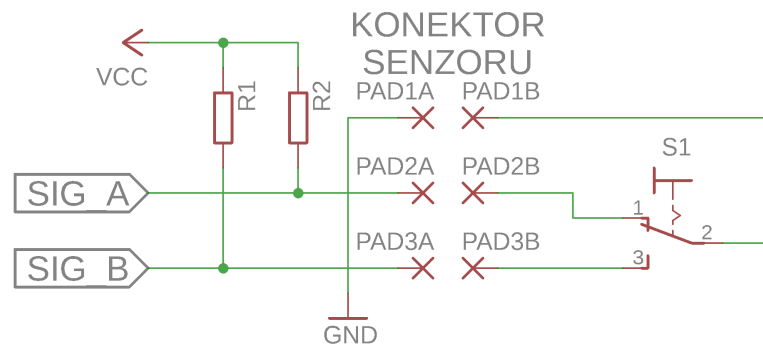
Aby bylo možné zmíněné problémy detekovat, případně opravit, zvolil jsem redundantní řešení – použití 2 navzájem inverzních signálů pro každý senzor. Tento přístup vyžaduje použití vhodných senzorů – musí mít 2 inverzní výstupy (např. spínací a rozpínací kontakt, nebo přepínací kontakt). Pro názornost přikládám pomocné schéma znázorňující zapojení senzoru s pull-up rezistory, které je na obrázku 3.8. Poruchy, které budu nyní zkoumat, se odehrávají na straně senzoru (pravá část schématu – za konektorem).

Na straně modulu (např. cílového, startovacího) jsou jednotlivé signálové vstupy (označme je A, B) opatřeny pull-up rezistory. Na straně senzoru budou signály spínány na zem (GND). Správné chování připojeného senzoru se pozná tak, že jsou signály A a B navzájem inverzní (musíme však počítat s dobou potřebnou na ustálení stavu senzoru).

Přehled množství možných chybových scénářů, stavů senzorů, jednotlivých signálů a zjištěných anomálií je uveden v tabulce B.1. Můžete si všimnout, že v některých situacích

³NO – normally open

⁴NC – normally closed



Obrázek 3.8: Schéma znázorňující zapojení senzoru s pull-up rezistory

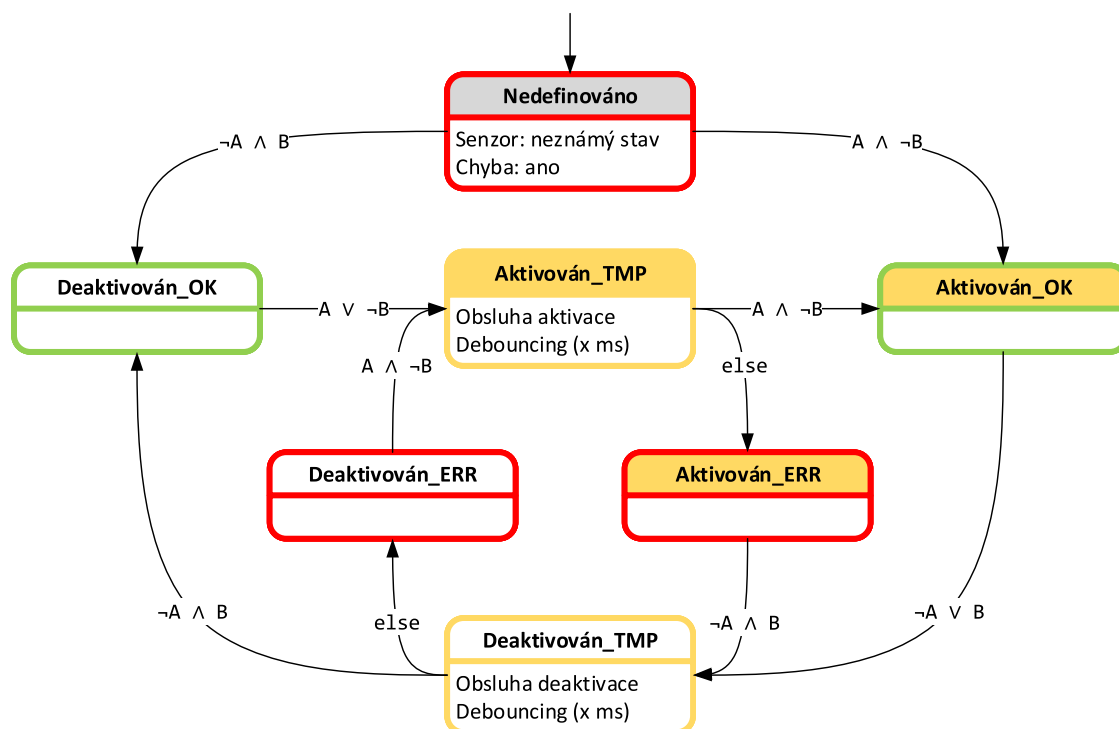
se nepodařilo anomálii zjistit. Díky vyhodnocovací logice (bude popsána později) však ani takové situace nezpůsobí chybu měření. Potenciálně problémovou situací může být ta poslední (A zkratován na zem, B přerušen), kdy ani vyhodnocovací logika nezjistí anomálii – řešením je provedení zkušebního sepnutí a rozepnutí senzory při instalaci časomíry.

Toto řešení stále umožňuje použití starších senzorů dodávaných např. k jiným časomírám. Je tedy možné připojit senzor s pouhým jediným výstupem, značně se nám ovšem zmenší možnosti detekce chyb. Detekce anomálií dle tabulky B.1 není možná. Např. při použití pouze spínacího kontaktu u startovací pistole víme, že před startováním musí být kontakt rozeplý (a dokážeme tak detekovat případný problém), ovšem nepřipojený nebo přetržený kabel už detekovat nedokážeme. I na tomto jednoduchém příkladu vidíme závažnost možných problémů. Řešením je právě používání navržených přepínacích kontaktů a inverzních signálů.

Další velkou výhodou dvou-signálového připojení senzorů je oprava chyb vzniklých v průběhu soutěže, nebo závodního pokusu, a to díky redundanci. Pokud před startem nezjistíme na signálech ze senzoru žádnou chybu, pak máme jistotu, že při jakémkoliv poškození jednoho ze signálových vodičů dokážeme údaj o aktivaci senzoru správně vyhodnotit.

Pro vyhodnocení signálů ze senzoru jsem vytvořil stavový automat, který vidíte na obrázku 3.9. Časomíra vyhodnocuje signály ze senzoru a podle toho provádí přechody v uvedeném automatu. Před startem soutěžního pokusu musí být logika všech senzorů ve stavu *Deaktivován_OK*. Jako aktivace senzoru se bere jakákoliv změna na signálech, přejde se do stavu *Aktivován_TMP*. V tomto stavu se setrvá nezbytně nutnou dobu pro ustálení stavu senzoru – tzv. „debouncing“, poté jsou signály znovu vyhodnoceny a podle nich se určí, zda byla při aktivaci senzoru detekována chyba.

Ve stavovém automatu jste si možná všimli, že chybí přímý přechod např. ze stavu *Deaktivován_ERR* do *Deaktivován_OK*. Tento zdánlivý nedostatek je zde záměrně. Nechci umožnit snadný přechod z chybového stavu do jeho bezchybné varianty – je nutné nejprve vyzkoušet celkovou funkčnost senzoru (je třeba ho bezchybně aktivovat a deaktivovat).



Obrázek 3.9: Stavový automat pro vyhodnocení signálů ze senzoru

3.4.2 Jednotný konektor

Jednotné rozhraní pro připojení senzoru bude obsahovat:

- napájení +12 V,
- zem (GND),
- signál A (pull-up, spínaná zem),
- signál B (pull-up, spínaná zem).

Popsané větve a signály budou vyvedeny na vhodný 4-pinový konektor. Senzory nejsou náročné na napájení, předpokládám, že bude stačit proud 500 mA. Těmto požadavkům vyhoví velké množství konektorů. U některých disciplín (např. požární útok) je navíc potřeba zvýšená odolnost proti vodě. Proto jsem zvolil konektory typu M12 (viz. obrázek 3.10), které jsou vodotěsné s krytím IP68.

3.4.3 Připojení příslušenství cílového modulu

Zatím jediným zmíněným příslušenstvím (kromě samotného senzoru), které je potřeba připojit k cílovému modulu, je optická signalizace (světlo) na terče pro požární útok. Signalizace na terčích používají obvykle napájecí napětí 12 V, výjimkou nejsou ale ani jiné typy světél. Aby cílový modul vyhověl co nejvíce uživatelům, tak bude pro spínání osvětlení použito relé. Dalším příslušenstvím (dosud neuvedeno) je podsvícení terčů např. při nočních soutěžích. I zde může být požadavek na jiné napájecí napětí než 12 V.

S ohledem na možný provoz cílových modulů z vestavěných akumulátorů, je nutné omezit maximální odebíraný proud (např. na 500 mA – napájení se bude věnovat jiná kapitola).



Obrázek 3.10: Konektor M12 [73]

Aby bylo možné provozovat i náročnější spotřebiče, bude kromě větve 12 V 500 mA dostupná taky napájecí větev z externího zdroje (např. síťový adaptér, autobaterie, apod.).

Rozhraní pro připojení příslušenství se bude skládat z následujících větví a signálů:

- napájení +12 V 500 mA (z vestavěného akumulátoru),
- napájení z externího zdroje (napětí i proud záleží na použitém zdroji),
- společná zem (GND),
- spínací kontakt relé (2 piny – COM, NO).

Pro připojení příslušenství navrhuji použít opět vodotěsné konektory M12. Zaměnitelnost s konektorem pro připojení senzorů není možná, protože se liší počtem pinů.

3.5 Příklady sestav časomíry

Pro názornost uvedu několik konkrétních příkladů použití časomíry, a potřebných modulů.

3.5.1 Trénink požárního útoku

Pro trénink požárního útoku je kromě hlavní jednotky potřeba 2 cílové moduly (na každý terč jeden), startovací modul může být integrovaný v hlavní jednotce.

Popsaná sestava se skládá z malých, snadno přenositelných zařízení. Instalace takové časomíry zabere velmi krátkou dobu – odhaduji řádově jednotky minut. Všechny použité moduly jsou napájeny z vestavěných akumulátorů, není proto potřeba s sebou nosit těžké autobaterie (jako u jiných časomír).

3.5.2 Požární útok – soutěž

Při soutěži v požárním útoku je proti tréninkovým požadavkům navíc potřeba velký zobrazovací panel. Vzhledem ke vzdálenostem diváků a závodníků od panelu, je nutné správně zvolit velikost číslic – měla by stačit výška 16 cm. Podle finančních možností lze použít jednořádkový panel (naměřené časy se střídají), nebo víceřádkový panel (ukazuje naměřené časy obou terčů současně).

Pro větší komfort startéra lze uvažovat o použití dedikovaného startovacího modulu – propojení s hlavní jednotkou je bezdrátové. Není přitom potřeba měnit hlavní jednotku (ta zůstane původní), pouze se k ní bezdrátově připojí a nakonfiguruje startovací modul.

Již u tohoto příkladu se projevuje výhoda modularity navrženého systému časomíry. Byly totiž použity všechny moduly, které má družstvo k dispozici pro účely tréninku, a doplněn pouze zobrazovací modul, případně startovací modul. V případě, že se pořadatel rozhodne použít větší množství zobrazovacích modulů (např. na každý terč), pak to je samozřejmě taky možné.

3.5.3 Běh na 100 m s překážkami – soutěž

Soutěž v běhu na 100 m s překážkami je možno měřit stejnou časomírou, jako soutěž v požárním útoku. Změní se použité cílové senzory, protože u běhu na 100 m s překážkami se používají optické brány. Samotné cílové moduly zůstanou stejné, jelikož mají pro připojení senzorů univerzální rozhraní.

Každá dráha běhu na 100 m s překážkami vyžaduje jeden cílový modul s jedním vstupem. Pokud pořadatel disponuje časomírou pro požární útok, tak může měřit 2 dráhy běhů na 100 m s překážkami. Pro měření většího počtu drah je potřeba doplnit potřebné množství cílových modulů – lze si je např. půjčit od jiného družstva.

Kapitola 4

Návrh hardware

Nyní, když máme dostupnou specifikaci časomíry, můžeme navrhnout elektroniku jednotlivých modulů. Nutno poznamenat, že specifikace časomíry, návrh hardware a firmware se prolínají. Návrh popsany v této kapitole je výsledkem několika iterací specifikace, návrhu hardware s přihlédnutím k budoucí implementaci firmware.

V následujících podkapitolách budou popisovány různé obvody – schémata najdete v příloze této práce.

4.1 Jednotná napájecí deska

4.1.1 Akumulátory

Významným požadavkem na systém časomíry je snadná přenositelnost a možnost jejího využití také pro trénink. Moduly používané při tréninku musí být proto vybaveny vestavěnými akumulátory umožňující dostatečně dlouhý provoz.

Výběr akumulátorů probíhal s ohledem na potřebné napájecí napětí pro různé subsystémy časomíry – bude popsáno později. Vybíral jsem z několika technologií akumulátorů: Pb (olověný akumulátor), Li-ion (lithium-iontový akumulátor), NiCd (nikl-kadmiový akumulátor), NiMh (nikl-metal hybridový akumulátor). Informace jsem získával průzkumem online katalogů, eshopů a ze zdroje [40]. Klíčovými parametry jsou (seřazeny od nejdůležitějších): hustota energie, cena, napětí článku, životnost, samovybíjení.

Olovené (Pb) akumulátory jsou nejlevnější ze všech vyjmenovaných typů akumulátorů. Pro časomíru by mohl být vhodný např. 6 V (3 články) gelový akumulátor, který může fungovat v libovolné poloze (na rozdíl od olovených akumulátorů s volně nalitou kyselinou). Velkou nevýhodou je však nízká hustota energie – akumulátor o relativně malé kapacitě má poměrně velké rozměry.

NiCd akumulátory mají ve srovnání s Pb akumulátory nepatrně vyšší hustotu energie, ale znatelně vyšší cenu. NiMh akumulátory jsou podobné NiCd akumulátorům svou cenou a napětím, mají však lepší hustotu energie. NiMh akumulátory však trpí samovybíjením, což pro navrhovanou časomíru není příliš vhodné – vyžadovala by údržbu (dobíjení) už po cca. měsíční odstavce.

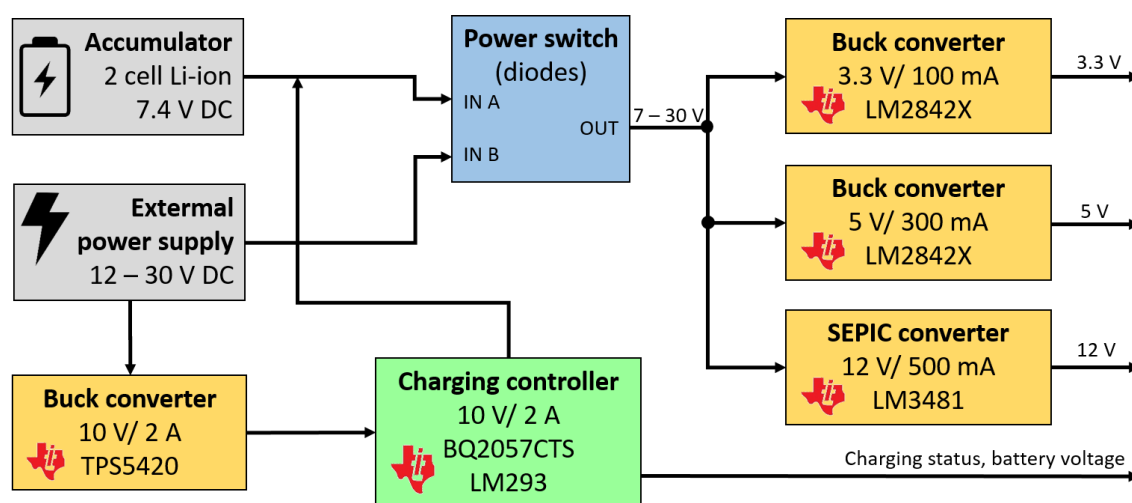
Li-ion akumulátory mají z vyjmenovaných akumulátorů jedny z nejlepších parametrů, výjimkou je cena. Vysoká hustota energie, dobrá životnost a téměř žádný samovybíjecí efekt jsou pro nás důležité parametry. Napětí článku je 3,7 V, takže pro každý modul potřebujeme 2 sériově zapojené akumulátory. Orientálním výpočtem jsem zjistil, že kapacita cca

2 000 mAh bude s rezervou dostatečná pro několikahodinový provoz při tréninku, cena jednoho článku obvyklé velikosti MR18650 se pohybuje kolem 100 Kč [69], což je přijatelné.

Výdrž akumulátoru je závislá na konkrétním použití modulů časomíry. Minimálním požadavkem je výdrž alespoň 2 hodiny provozu, což by mělo s přehledem pokrýt jeden trénink. V případě nasazení časomíry na déletrvající soutěži, je možno použít externí zdroj napájení. Pořadatelé soutěží mají nejčastěji k dispozici externí zdroje energie ve formě autobaterií, případně palubní sítě osobních a nákladních vozidel (12 V resp. 24 V). Proto jsem zvolil rozsah napětí externího zdroje od 12 do 30 V. Připojení k síti 230 V je možné např. pomocí síťového adaptéru.

4.1.2 Blokové schéma

Univerzální napájecí deska bude použita v hlavní jednotce, v cílovém a startovacím modulu. Navržené blokové schéma najdete na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Blokové schéma napájecí desky

4.1.3 Přepínání zdrojů energie

Jako interní zdroj energie slouží dvojice Li-ion akumulátorů, jejichž nominální napětí je 7,4 V, kapacita alespoň 1 000 mAh (minimální kapacitu uvádím kvůli proudové zatížitelnosti). Napětí externího zdroje se může pohybovat v rozsahu 12–30 V, výkon alespoň 6 W pro nabíjení, při současném provozu zařízení může být požadovaný výkon externího zdroje až 18 W.

Použití externího zdroje napájení je upřednostňováno před interním zdrojem pomocí diod zařazených do série jednotlivých zdrojů. Pro minimalizaci úbytku napětí jsem se rozhodl použít Schottkyho diody [80]. Zároveň diody zajišťují ochranu proti nechtěnému přepólování – tato situace může snadno nastat při připojení externího zdroje energie (např. na autobaterii).

4.1.4 Napájecí větve

Pro vnitřní elektroniku jednotlivých modulů je potřeba vytvořit napájecí napětí 3,3 V a 5 V. Jelikož se vstupní napětí do regulátorů může pohybovat od cca 6 V do 30 V, bylo

nejvhodnější použít snižující spínané regulátory napětí [60], které jsou známé svou velmi dobrou účinností pohybující se kolem 90 % [56]. V případě použití lineárních regulátorů [61] by se napěťový rozdíl musel převést na teplo, což by i při relativně malých proudech (stovky miliampér) znamenalo velké množství tepla (jednotky až desítky wattů), které bychom měli problém odvést. Konkrétně jsem pro obě větve použil integrované obvody s vestavěným spínacím prvkem LM2842 [57], zapojení je provedeno podle datasheetu.

Dále je zde spínaný regulátor napětí 12 V, který tvoří napájecí větev pro připojované senzory a příslušenství. Vzhledem k rozsahu vstupního napětí (6–30 V) nelze použít pouze snižující [60] nebo zvyšující [59] měnič, ale je nutné využít měnič typu SEPIC (single-ended primary-inductor converter) [85], který dokáže napětí jak snižovat, tak zvyšovat (při nižším vstupním napětí měnič pracuje ve zvyšujícím módu, a obráceně). Použil jsem integrovaný obvod LM3481 [54], který ovládá tranzistor (je použit externí kvůli odvádění tepla). Zapojení vychází z datasheetu, ruční výpočty hodnot některých součástek jsem porovnal s online nástrojem Webench [68].

4.1.5 Nabíjení vestavěných akumulátorů

Nabíjení vestavěných akumulátorů je prováděno z externího zdroje, a je automatické. O řízení nabíjení se stará integrovaný obvod BQ2057 [50], který však provádí nabíjení lineárním (nikoliv spínaným) způsobem. Aby nevznikalo velké množství tepla (zejména při vyšším externím napětí – např. 24 V), je externí napájení nejdříve spínaným regulátorem TPS5420 [52] sníženo na 10 V, další regulace je již prováděna lineárním způsobem bez významných ztrát. Popsaná kombinace je pravděpodobně nejvhodnější, jelikož se mi nepodařilo najít vhodný integrovaný obvod pro řízení nabíjení pracující ve spínaném režimu.

Zapojení vychází z datasheetu. Navíc jsem doplnil diodu, která zablokuje zpětný proud z akumulátoru při odpojení externího napájení – je tak minimalizováno samovybíjení. Součástí nabíjecího obvodu je sledování teploty pomocí NTC termistoru – Li-ion akumulátory totiž není bezpečné nabíjet při mrazu, nebo při vysoké teplotě. Rozsah teplot, při kterých je nabíjení možné, jsem nastavil na 6–41 °C.

Průběh nabíjení lze sledovat pomocí třístavového výstupu nabíjecího obvodu. Abychom mohli průběh nabíjení přenést do mikrokontroléru a zároveň použít pro signalizaci LED diody (fungující i při vypnutém mikrokontroléru), je třeba tento třístavový signál převést na dva binární signály, se kterými budeme dále pracovat. Třístavový výstup může nabývat následujících hodnot:

- logická 0 – 0 V,
- logická 1 – zde 10 V,
- stav vysoké impedance (Hi-Z).

Právě stav vysoké impedance je nežádoucí, proto tento plovoucí stav pomocí odporového děliče napětí zakotvíme na úroveň 5 V. Nyní může signál nabývat 3 stavů, jejichž napěťová úroveň je definovaná. Rozdělení na 2 binární signály je provedeno pomocí dvojice komparátorů v integrovaném obvodu LM293 [58]. Popis možných stavů je v tabulce 4.1 – signály A a B jsou binární.

Třístavový výstup	Signál A	Signál B	Popis
0 (0 V)	1 (0 V)	0 (Hi-Z)	Nabíjení dokončeno.
1 (10 V)	0 (Hi-Z)	1 (0 V)	Nabíjení probíhá.
Hi-Z (5 V)	1 (0 V)	1 (0 V)	Chyba při nabíjení.
Nedefinováno	0 (Hi-Z)	0 (Hi-Z)	Nepřipojen externí zdroj.

Tabulka 4.1: Stavy během nabíjení a jejich význam

4.2 Bezdrátové moduly

4.2.1 Volba kmitočtového pásma

Pro bezdrátovou komunikaci mezi jednotlivými moduly je potřeba zvolit vhodný kmitočet a další parametry. Touto problematikou jsem se zabýval již ve své bakalářské práci [37] (zabývající se bezdrátovou komunikací v oblasti požárního sportu), zvolil jsem pásmo 868 MHz.

Volbu kmitočtového pásma jsem znovu prověřil s ohledem na předpisy Českého telekomunikačního úřadu – zejména všeobecné oprávnění k provozování zařízení krátkého dosahu (SRD¹) [86]. Dalším zdrojem informací byla online aplikace ČTÚ mapující využití rádiového spektra [87]. Právě navrhovaný systém bezdrátové časomíry se řadí mezi zařízení krátkého dosahu (SRD). K dispozici tak máme různá pásma, z nichž připadají v úvahu následující: 433 MHz, 868 MHz a 2,4 GHz.

Pásmo 2,4 GHz je v současnosti přeplněno různými WiFi routery. Pásmo 433 MHz je většinou používáno bezdrátovými zvonky, a jinými zařízeními (často velmi laciného provedení) – předpokládám vyšší pravděpodobnost rušení.

Zbývá tedy pásmo 868 MHz, kde jsme (podobně jako u pásma 433 MHz) omezení maximálním vyzařovaným výkonem 25 mW, a dalšími podmínkami (dodržení klíčovacího poměru, nebo použití techniky přístupu k médiu Listen Before Talk). Listen Before Talk je metoda vysílání, při které je nejprve určitou dobu poslouchán vybraný kanál. Pokud není detekována probíhající komunikace (na základě úrovně detekovaného signálu nebo šumu), pak je možné vysílat.

4.2.2 Bezdrátové moduly

Už v bakalářské práci jsem pro bezdrátovou komunikaci vybral obvod CC1101 [63] firmy Texas Instruments, který podporuje kmitočtová pásma 433 MHz i 868 MHz. Tento obvod je použit v řadě hotových modulů různých výrobců.

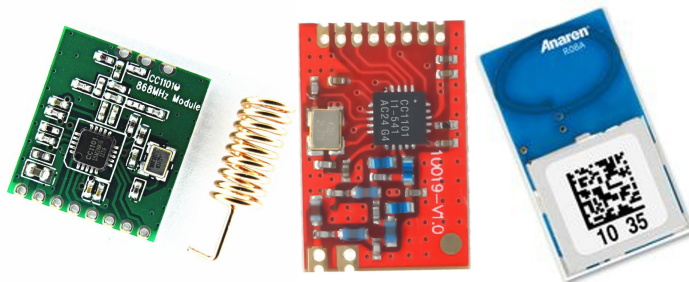
Firma Anaren vyrábí certifikované bezdrátové moduly se zmíněným čipem. Jedná se o řadu A1101R [12], která obsahuje spoustu různých provedení – anténa na PCB, anténní konektor U.FL, pásmo 433 MHz, 868 MHz, 900 MHz. Cena těchto modulů se pohybuje kolem 450 Kč, což je poměrně hodně. Existuje taky rozšiřující deska s tímto modulem pro experimentování od firmy Texas Instruments [62], kterou jsem si objednal.

V internetovém obchodu AliExpress je možné najít další hotové moduly s obvodem CC1101. Některé moduly mají velmi dobré hodnocení, a jsou používány ve spoustě konstrukcích (na webu je spousta článků o těchto modulech). Asi nejpoužívanější výrobek je „zelený“ modul M115 [9, 14], který se u nás prodává za téměř 200 Kč, přes AliExpress vyjde na cca 65 Kč. Tento modul má rozměry cca 15×20 mm. Novinkou na AliExpressu

¹SRD – Short Range Device

je „červený“ modul E07-868MS10 [8], který se prodává za podobnou cenu, jako „zelená“ varianta, tedy 65 Kč. Všechny tři moduly jsou na obrázku 4.2.

Doba dodání z Asie může být dlouhá (až 2 měsíce), proto jsem včas objednal od každého produktu několik kusů (včetně rezervních) – abych mohl v případě neúspěchu vyzkoušet jiný. Přidal jsem taky varianty pracující v pásmu 433 MHz. Dále jsem objednal zmíněnou rozšiřující desku od Texas Instruments s modulem Anaren a PCB anténou.



Obrázek 4.2: Bezdrátové modul s obvodem CC1101 [14, 8, 12]

4.3 Hlavní jednotka

Hlavní jednotka slouží k řízení celé sestavy časomíry. Pro její ovládání je vybavena LCD displejem a tlačítky.

4.3.1 LCD displej

LCD displej jsem zvolil znakový o čtyřech řádcích, délka řádku je 20 znaků. Většina těchto displejů používá řadič HD44780 [23]. Rozhraní pro připojení displeje je paralelní (4 nebo 8 bitů), dále jsou potřeba logické signály RS, RW, E.

Při výběru konkrétního LCD displeje jsem nakonec zvolil produkt z AliExpressu [10] kvůli několikanásobně nižší ceně ve srovnání s českými obchody (na AliExpressu vychází cca 100 Kč). Displej má modré LED podsvícení.

Podsvícení displeje jsem se rozhodl regulovat pomocí PWM² z mikrokontroléru. Další analogovou částí je řízení kontrastu, které bývá obvykle řešeno trimrem, který se nastaví při montáži. Je možné, že bude potřeba měnit nastavení kontrastu v průběhu životnosti časomíry. Při použití trimru by se jednalo o nutný hardwarový zásah, při kterém by bylo třeba otevřít přístrojovou skříňku (a narušit tak např. voděodolnost). Rozhodl jsem se proto vytvořit obvod, který umožní regulovat kontrast pomocí PWM (podobně jako v případě jasů podsvícení).

4.3.2 Tlačítka

Pro ovládání časomíry jsem zvolil celkem 5 tlačítek: nahoru, dolů, OK (potvrzení), menu, STOP/Reset (speciální funkce). Vzhledem k nízkému počtu tlačítek je možné každé zvlášť připojit k mikrokontroléru. Není nutné tlačítka multiplexovat a skenovat (jako při použití maticové klávesnice). Multiplexování matice 3×2 (tedy 6 tlačítek) by vyžadovalo 5 signálů

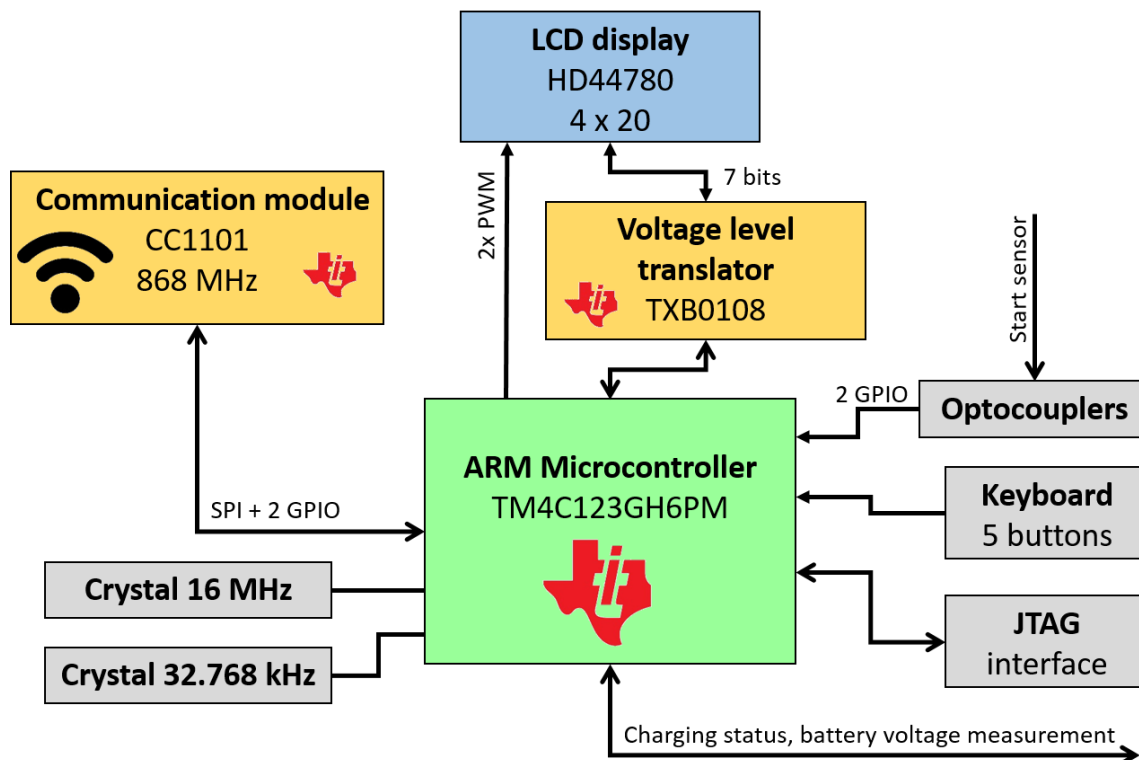
²PWM – Pulse Width Modulation (pulsně šířková modulace)

z mikrokontroléru, což by v našem případě nepřineslo žádnou výhodu, naopak složitější firmware.

4.3.3 Blokové schéma

Tato jednotka se skládá z jednotné napájecí desky a mikrokontrolérové desky, které jsou spolu propojeny. Blokové schéma mikrokontrolérové desky je na obrázku 4.3.

Při specifikaci systému časomíry bylo zmíněno, že je možné sloučit startovací modul a hlavní jednotku, což si nyní předvedeme – jsou doplněny pouze signálové vstupy a jejich ochrana (oddělení optočleny).



Obrázek 4.3: Blokové schéma mikrokontrolérové desky hlavní jednotky

Jako mikrokontrolér jsem zvolil ARM od firmy Texas Instruments TM4C123GH6PM [55], protože jsem předpokládal, že od hlavní jednotky bude požadován vyšší výkon ve srovnání s periferními moduly.

K mikrokontroléru jsou připojeny:

- LCD displej – přes 7 GPIO³, 2 PWM;
- tlačítka – přes 5 GPIO s přerušením a pull-up rezistory;
- senzor (2 signály z optočlenů) – přes 2 GPIO s přerušením a pull-up rezistory;
- bezdrátový modul (CC1101) – přes SPI (4 signály) a další 2 pomocné signály vedené na GPIO;

³GPIO – General Purpose Input/Output, pin mikrokontroléru pro všeobecné použití

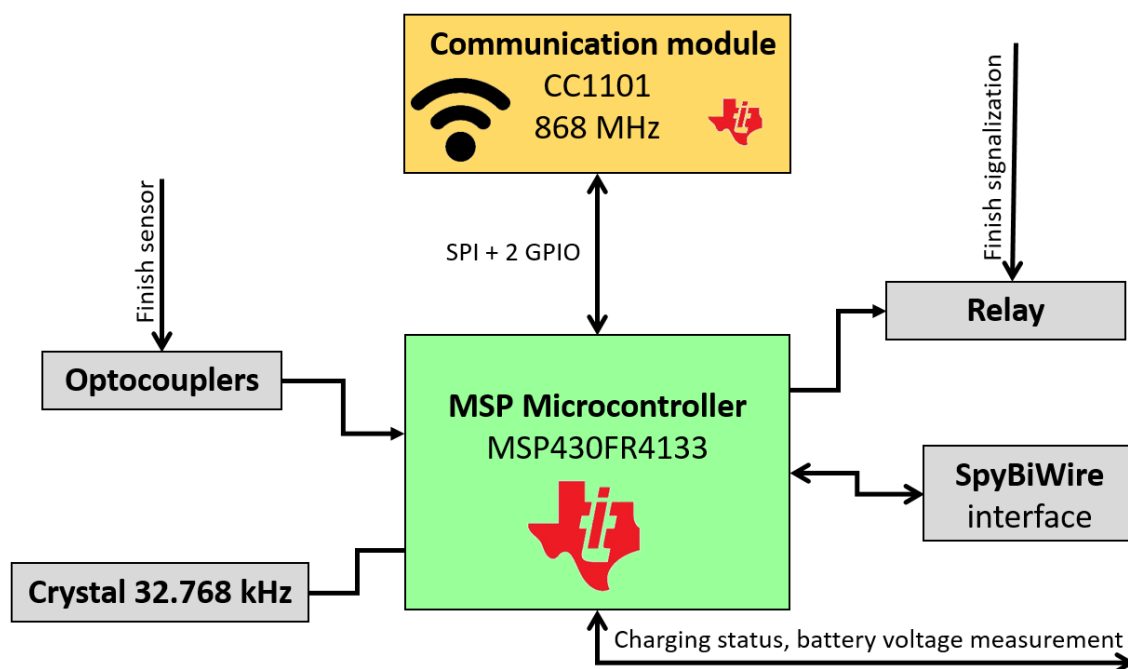
- signály napájecí desky – stav nabíjení přes 2 GPIO s pull-up rezistory, měření napětí akumulátoru přes 1 GPIO a 1 vstup na AD⁴ převodník;
- programovací rozhraní (JTAG);
- krystaly.

Krystaly (jako zdroj taktu mikrokontroléru) jsou použity celkem 2. Jeden má frekvenci 16 MHz a slouží přímo pro jádro mikrokontroléru, SPI a další periferie. Druhý krystal má frekvenci 32 768 Hz (nazývá se hodinový) a je použit pro taktování časovače RTC⁵ pro přesné měření času.

Mnou použitý LCD displej má pracovní napětí 5 V (stejně jako většina podobných displejů). Mikrokontrolér však pracuje s úrovněmi 3,3 V, proto bylo potřeba tyto napěťové úrovně převést – použil jsem obvod TXB0108 [67] firmy Texas Instruments.

4.4 Cílový (periferní) modul

Tato jednotka se skládá, podobně jako hlavní jednotka, z jednotné napájecí desky, a mikrokontrolérové desky. Blokové schéma mikrokontrolérové desky je na obrázku 4.4. Můžete si všimnout, že je velmi podobné tomu u hlavní jednotky. Změna je v použitém procesoru (zde je méně výkonný TI MSP430FR4133 [64]), některé periferie ubyly, přibylo relé pro ovládání externího příslušenství časomíry.



Obrázek 4.4: Blokové schéma mikrokontrolérové desky cílového modulu

Tento modul jsem nejdříve navrhoval jako cílový. Při návrhu startovacího modulu jsem však zjistil, že jediným rozdílem mezi těmito moduly je absence relé pro ovládání externího

⁴AD – analogově digitální

⁵RTC – Real Time Clock

příslušenství časomíry. Proto jsem se rozhodl tento modul využít univerzálně i pro startovací jednotku. V budoucnu tak dojde k úspoře při výrobě desek plošných spojů díky větší výrobní dávce, snadnějšímu vývoji firmware (není potřeba mít 2 odlišné firmware), apod.

4.5 Zobrazovací modul

Zobrazovací modul má sloužit jako informační prvek pro diváky i závodníky. Zobrazovanými informacemi mohou být např. čas pokusu, číslo závodníka, jméno závodníka (resp. název družstva), odpočet času na přípravu pokusu, aj.

4.5.1 Volba technologie zobrazování

Vzhledem k rozloze závodní plochy je potřeba navrhnout zobrazovací plochu tak, aby byla čitelná na vzdálenost několika desítek metrů, a to na přímém slunci, i v noci.

Čitelnost textu na určitou vzdálenost zajistíme vhodnou volbou velikosti znaků. V praxi bylo ověřeno, že pro účely požárního sportu je použitelná výška znaku 15 cm. Při průzkumu trhu se rozměry zobrazovacích panelů lišily, existuje dokonce časomíra s 26 cm vysokými znaky.

Čitelnost zobrazovacího panelu i na přímém slunci klade požadavky na dostatečný jas a kontrast zobrazovací plochy. Při použití LED diod máme zajištěnou výbornou čitelnost v noci, zatímco pro použití na přímém slunci musíme vybrat vhodné LED diody. Pokud bychom použili elektromagneticky naklápěné terčíky, pak máme jistotu výborné čitelnosti ve dne, zatímco v noci bychom museli displej dodatečně nasvětlovat (např. podsvícením těchto terčíků).

Většina časomír, se kterými jsem se setkal, používala LED diody. Velká část z nich nebyla dobře čitelná na slunci. Setkal jsem se taky s jednou profesionální časomírou, která používala elektromagneticky naklápěné segmenty – ty jsou však poměrně pomalé, a zasekávají se.

4.5.2 Vybrané LED moduly

Hledal jsem tedy nejlepší možné řešení, inspirací mi byly LED reklamní tabule, dopravní značky, aj. Na AliExpressu jsem našel množství LED modulů, z nichž se mi nejvíce hodily grafické moduly s LED diodami uspořádanými v matici 16×32 bodů s roztečí 10 mm ve venkovním provedení (odolné proti vodě) [11]. Cena jednoho modulu vychází včetně dopravy cca 450 Kč, což mi přišlo přijatelné a rozhodl jsem se tyto moduly vyzkoušet. Popisovaný modul můžete vidět na obrázku 4.5.

Ovládání modulu

Nyní začnu úvahou, jak je možné ovládat panel s tak velkým počtem bodů – na jednom panelu je jich 512. Pro ovládání primitivním způsobem (přímo) bychom potřebovali 512 signálů z mikrokontroléru, kterými bychom ovládali tranzistory – tolik IO pinů ani zdaleka k dispozici nemáme.

Možným řešením by bylo multiplexování. Pokud bychom displej multiplexovali podle fyzického uspořádání (16 řádků, 32 sloupců), pak bychom pro ovládání potřebovali 48 signálů z mikrokontroléru – takové množství GPIO je možné. Vzhledem k technologii multiplexování by však klesla doba svitu diody na $\frac{1}{16}$, což by výrazně snížilo jas. Toto řešení navíc není modulární, protože přidání dalšího displeje by znamenalo zdvojnásobit počet signálů z mikrokontroléru – snadno se dostaneme nad únosnou mez (už při 3 panelech).



Obrázek 4.5: LED modul 16×32 bodů, rozteč 10 mm, modrá barva [11]

Vybraný LED modul je však ovládán mnohem lepším způsobem. Kombinuje multiplexování a posuvné registry. Celý displej je multiplexováním rozdělen na 4 skupiny řádků. Multiplex 1 ze 4 sice sníží jas, ten je ale pořád dostatečný. Každý bod ze volené skupiny řádků je ovládán zvlášť pomocí skupiny posuvných registrů. Posuvné registry jsou řazené za sebe, data jsou do nich nasouvána sériově pomocí SPI.

Pro ovládání jednoho panelu výše uvedeným způsobem je tak potřeba pouze 6 signálů: 2 pro multiplexování, 2 pro SPI (MOSI⁶, CLK), 1 Latch (překlopení dat do posuvných registrů), 1 OE (Output Enable).

Obrovskou výhodou tohoto řízení displeje je modularita. Pokud budeme chtít použít více panelů, tak je mezi sebou datově propojíme (data z posledního posuvného registru prvního modulu propojíme se vstupem do prvního posuvného registru dalšího modulu, apod.). Můžeme tak za sebe řadit teoreticky libovolné množství panelů – omezení jsme pouze rychlostí SPI. Pokud bychom totiž nestačili obrazová data dostatečně rychle „sunout“ do panelů, pak by bylo vidět problikávání skupin řádků způsobené multiplexováním.

Napájení modulu

Každý modul je napájen napětím 5 V. Příkon jednoho panelu při plném svitu činí cca 25 W (změřeno, odpovídá udávaným hodnotám). Na začátku vývoje jsem používal spínaný zdroj na 230 V, protože jsem neměl k dispozici laboratorní zdroj s potřebnými parametry. Napájení bude rozebráno ještě později při návrhu další generace hardware.

⁶Master Out Slave In

4.5.3 Výroba vlastní LED plochy

Výše popsáný LED panel se skládá z velkého množství součástek (zejména LED diod). Jeho prototypová (nebo malosériová) výroba by byla podle mého názoru mnohonásobně dražší ve srovnání s hotovým modulem z AliExpressu [11].

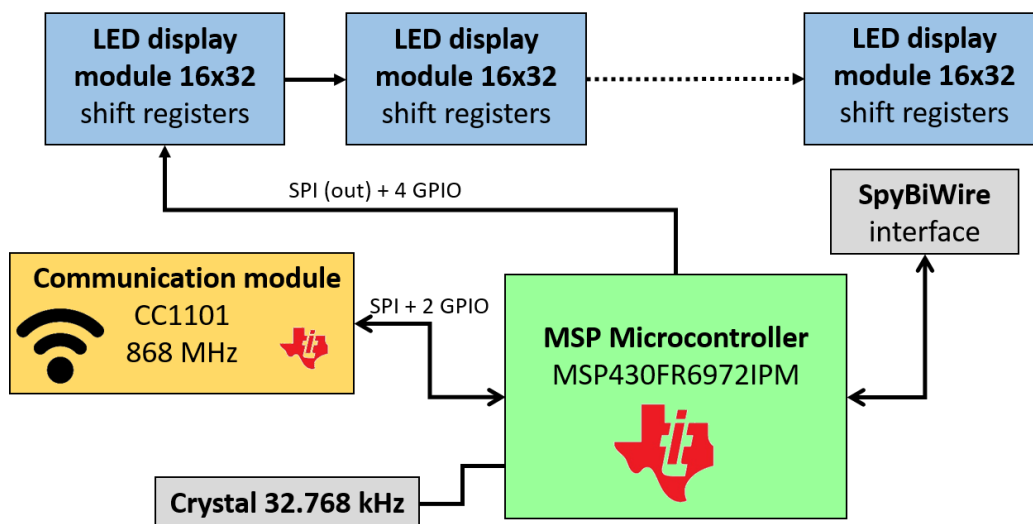
Další možností je vlastní výroba LED numerického displeje (velký LED sedmisegmentový displej), která by byla podobně náročná – jak prací, tak cenou.

Rozhodl jsem se tedy jít cestou nákupu LED panelů, které poskládám. Při zobrazování číslic bude část LED plochy nepoužívaná. Pokud bychom ale chtěli zobrazovat např. jména závodníků ve formě běžícího textu, tak tento grafický panel plně využijeme.

4.5.4 Blokové schéma

Zobrazovací modul jako jediný nepoužívá jednotnou napájecí desku, protože není provozován z vestavěného akumulátoru. Rozsah vstupních napětí zůstává 12–30 V (kromě LED modulů – ty jsou napájeny zvlášť ze sítě). Veškerá elektronika je umístěna na jedné desce plošných spojů.

Blokové schéma mikrokontrolérové části je na obrázku 4.6. Můžete si všimnout, že je velmi podobné blokovému schématu periferního modulu. Přibýlo však rozhraní pro připojení LED modulů, ubýlo rozhraní pro připojení senzorů.



Obrázek 4.6: Blokové schéma mikrokontrolérové části zobrazovacího modulu

4.5.5 Přístrojová skříň

Při stavbě prototypu jsem použil celkem 6 LED modulů, které jsem rozdělil do 2 řádků. Rozměry každého řádku jsou 16×96 cm, což je dostatečné pro zobrazení maximálního možného času jakékoliv disciplíny s požadovanou přesností.

LED moduly jsou z výroby opatřeny plastovým rámem se zapuštěnými maticemi pro jejich montáž. V programu SolidWorks jsem vytvořil výkres předního plechu, na který mají být moduly umístěny. Do plechu bylo potřeba vytvořit otvory pro připevnění modulů (díry pro šrouby) a pro propojovací kabely. Otvory pro přední plech byly vypáleny laserem, následně byl dodělán ocelový rám s možností upevnění na stojan.

Kapitola 5

Návrh firmware

Systém časomíry se skládá z několika různých jednotek, každá obsahuje mikrokontrolér, který je potřeba naprogramovat. Pro navržený hardware nyní naprogramujeme firmware tak, aby byly splněny funkční požadavky na systém časomíry.

5.1 Bezdrátová komunikace

Asi nejvýznamnější částí je firmware pro bezdrátovou komunikaci. Ten se skládá ze dvou významných částí: ovládání bezdrátových modulů a komunikačního protokolu.

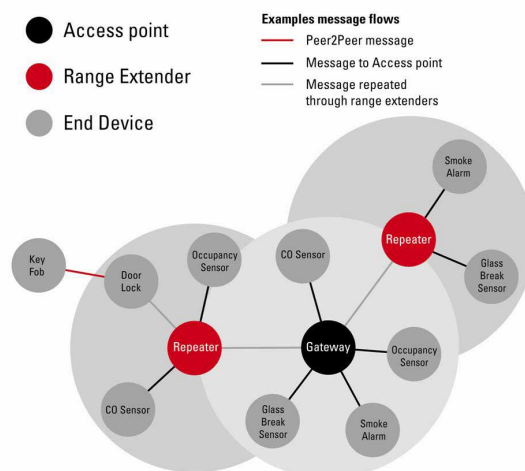
Touto problematikou jsem se začal zabývat ve své bakalářské práci [37], která používala taktéž čipy CC1101 pro bezdrátovou komunikaci. Výrobce (Texas Instruments) k těmto čipům dodává obslužnou knihovnu SimpliciTI [66], která se stará o ovládání fyzických modulů a navíc obsahuje připravený komunikační protokol až po aplikační vrstvu.

Protokol SimpliciTI rozlišuje tři typy zařízení, s pomocí kterých je možné tvořit síť (viz. obrázek 5.1). Prvním z nich je **Access point**, který tvoří centrální prvek a slouží jako přístupový bod. Druhé zařízení je **End device**, což je koncové zařízení připojující se k access pointu. Zařízení typu End device musí být v dosahu přístupového bodu, nebo v dosahu zařízení typu Range extender. **Range extender** je třetí ze skupiny zařízení protokolu SimpliciTI, které slouží pro prodloužení vzdálenosti komunikace – slouží jako opakovač.

Když si vzpomeneme na navrženou hierarchii bezdrátové komunikace u naší časomíry, tak vidíme velkou podobnost se strukturou protokolu SimpliciTI. Hlavní jednotka bude sloužit jako Access point, ostatní moduly časomíry budou typu End device. Zařízení typu Range extender v našem případě nebude potřeba.

5.1.1 Sestavení sítě

Prvním krokem pro naši bezdrátovou komunikaci je sestavení sítě. V protokolu SimpliciTI je Access point (hlavní jednotka), který čeká na připojení zařízení typu End device (periferních modulů). Pro připojení k Access pointu musí každé zařízení typu End device znát dva tokeny: Join token a Link token – oba slouží pro různé stupně filtrování komunikace. **Join token** se používá pro navazování spojení s Access pointem – zařízení typu End device musí pro komunikaci s Access pointem používat stejný Join token, jinak Access point nebude odpovídat. **Link token** se váže na konkrétní vytvořené spojení mezi Access pointem a zařízením typu End device. Link token je při ustavování spojení odeslán u Access pointu do příslušného zařízení typu End device.



Obrázek 5.1: Příklad struktury sítě vytvoření pomocí SimplicTI [66]

Postup připojení do sítě je následující (převzato z [37]):

1. Zařízení, které se chce do sítě připojit zná `join` token a odešle ho zprávou `join` hlavní jednotce.
2. Hlavní jednotka ověří správnost přijatého tokenu a případně odešle žádajícímu zařízení `link` token.
3. Připojované zařízení odešle zprávu `link` s obdrženým tokenem hlavní jednotce.
4. V případě, že hlavní jednotka kladně ověří správnost přijatého tokenu, je navázána obousměrná komunikace.

5.1.2 Párování modulů

Každá sestava časomíra bude mít nastaven unikátní Join token. Po zapnutí časomíry a periferních modulů dojde k automatickému navázání komunikace pouze mezi moduly a hlavní jednotkou, které mají stejný Join token. Tento přístup umožňuje současné použití několika sestav časomíry současně na jednom místě – např. měření několika disciplín na jednom sportovišti.

5.2 Metoda synchronizace hodin

Již v předchozích kapitolách jsem zmiňoval pojem synchronizace hodin mezi jednotlivými bezdrátovými moduly, a považoval jsem tuto funkci za nezbytnou pro spolehlivé fungování časomíry. Důvodem bylo zajištění odolnosti proti dočasnému rušení signálu, a taky kvůli odstranění nedeterministického zpoždění při přístupu k médiu.

Kromě přenášení pouhých změn stavů senzorů přenáším navíc přesnou časovou informaci o tom, kdy k události došlo. Nyní už nezáleží na tom, kdy zpráva dojde, ale pouze na přesnosti nastavení hodin v jednotlivých modulech. Z kapitoly o kalibraci 3.1.3 známe dobu, za kterou se může časomíra vlivem nepřesnosti krystalu začít uchylovat o minimální rozlišovací jednotku (0,01 s). Stejným výpočtem lze určit, za jak dlouho se začnou hodiny

dvou modulů rozcházet o minimální rozlišovací jednotku, což je poloviční doba (jeden modul se uchyluje směrem nahoru, druhý dolů), tedy 250 s.

Po spárování modulů musí být tedy provedena počáteční synchronizace hodin – bez ní není možné začít posílat časová razítka. Následně musí být v intervalu nejvýše 250 s prováděna periodická synchronizace, která zajistí dlouhodobý souběh hodin obou modulů.

Úkolem této podkapitoly je najít metodu synchronizace hodin, která bude dosahovat přesnosti alespoň 0,01 s. Jednotlivými možnostmi se důkladně zabývala již má bakalářská práce, z které popisované metody s úpravami přebírám.

5.2.1 GPS

GPS přijímače mají výstup signálu 1PPS (1 pulse per second). Tento výstup vytvoří každou sekundu krátký impuls, kterým můžeme synchronizovat hodiny modulů časomíry. Chyba 1PPS signálu se pohybuje v desítkách nanosekund [53, 84], což je pro naše potřeby více než dostatečné.

Signál 1PPS s sebou nenese žádné další informace, takže neumožní sjednotit čas mezi moduly, ale pouze srovná rozdíl do velikosti 1 s. Vzniklý nedostatek by šel řešit vzájemnou komunikací modulů mezi sebou, protože interval 1 s je dostatečně velký, aby se všechna data stihla doručit a potvrdit.

Hlavním problémem je nutnost být v dosahu GPS signálu. Některé soutěže probíhají ve sportovních halách, kde bude GPS signál nedostupný. Navíc jsou GPS přijímače poměrně drahé. Ne každý z nich disponuje výstupem 1PPS, což nám zužuje výběr. Celkový dopad na cenu zařízení by byl velký, protože každý modul časomíry by musel být vybaven GPS přijímačem.

Použití GPS tedy není pro bezdrátovou časomíru vhodné zejména kvůli ceně a dostupnosti GPS signálu v uzavřených budovách.

V následujících podkapitolách se budu zabývat synchronizačními metodami, které nepotřebují speciální hardware. Bude se jednat o algoritmy, které využívají stávající bezdrátovou komunikaci.

Při synchronizaci pomocí bezdrátové komunikace může přesnost negativně ovlivnit:

- zpoždění síťového zařízení (fronty, přístup k médiu, výpočet kontrolního součtu, šifrování),
- samotný přenos (šíření) dat,
- latence software (operační systém, obsluha přerušení).

Při komunikaci na krátké vzdálenosti (což 100 m je) můžeme zpoždění při přenosu (šíření) dat ignorovat.

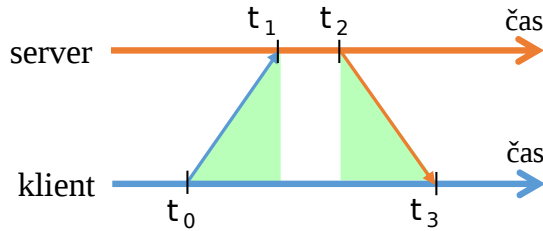
5.2.2 Network Time Protocol

Network time protocol je jeden z nejstarších protokolů pro synchronizaci hodin. Je hodně známý a rozšířený. Nejaktuálnější verze NTPv4 [33] může dosahovat (za určitých podmínek) přesnosti synchronizace v desítkách mikrosekund.

Synchronizace je možná díky výměně několika zpráv po síti a přesném měření času událostí, které při komunikaci nastaly. Princip (algoritmus) výměny zpráv je znázorněn na obrázku 5.2. Synchronizaci iniciuje klient a má tyto kroky:

1. Klient si uloží čas (t_0).

2. Klient odešle zprávu (požadavek ke zjištění zpoždění) NTP serveru.
3. Server si uloží čas přijetí požadavku (t_1).
4. Server připraví zprávu (odpověď), do které připojí čas t_1 a t_2 , což je jeho aktuální čas.
5. Server připravenou zprávu odešle.
6. Klient si uloží čas přijetí odpovědi (t_3).



Obrázek 5.2: Znázornění NTP synchronizačního algoritmu

Z časů t_0 až t_3 je možné pomocí vzorce 5.1 spočítat celkové zpoždění δ , které nastalo při komunikaci (zeleně zvýrazněné trojúhelníky na obrázku 5.2).

$$\delta = (t_3 - t_0) - (t_2 - t_1) \quad (5.1)$$

Při výpočtu offsetu θ (vzorec 5.2) času klienta oproti času serveru se předpokládá, že zpoždění při komunikaci směrem k serveru je stejné, jako směrem ke klientovi. Vzorec pro výpočet offsetu byl odvozen následovně:

$$\begin{aligned} \theta &= t_1 - t_0 - \frac{\delta}{2} \\ \theta &= t_1 - t_0 - \frac{(t_3 - t_0) - (t_2 - t_1)}{2} \\ \theta &= \frac{2 \cdot t_1 - 2 \cdot t_0 - [(t_3 - t_0) - (t_2 - t_1)]}{2} \\ \theta &= \frac{2 \cdot t_1 - 2 \cdot t_0 - t_3 + t_0 + t_2 - t_1}{2} \\ \theta &= \frac{t_1 - t_0 - t_3 + t_2}{2} \\ \theta &= \frac{(t_1 - t_0) + (t_2 - t_3)}{2} \end{aligned} \quad (5.2)$$

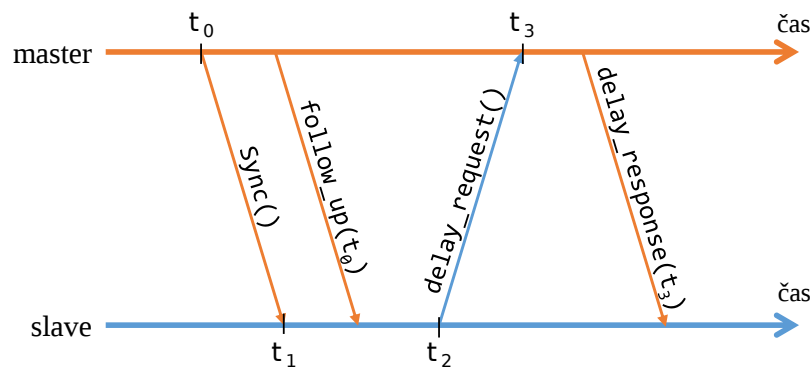
Celý proces výměny zpráv a výpočtu offsetu je několikrát opakován, aby bylo možné omezit nedeterministické chyby. NTP popisuje i filtrování a výběr hodnot. Teprve potom je upraven čas klienta podle vybraného offsetu.

Tento algoritmus odstranil některé chyby vzniklé zpožděním síťového zařízení (např. výpočet kontrolního součtu, šifrování). Pořád ale zbývá chyba vzniklá přístupem k médiu, čekáním dat ve frontách a nestálou latencí software.

5.2.3 Precision Time Protocol

Precision time protocol je definován standardem IEEE 1588-2008 [3]. Byl vytvořen, protože pro některé účely už NTP nestačil. Udávaná přesnost synchronizace je méně než $1 \mu\text{s}$. S NTP má spoustu společných částí, zejména výpočet zpoždění (vzorec 5.1) a offsetu (vzorec 5.2). Liší se ale v komunikaci, která je znázorněna na obrázku 5.3. Iniciuje ji server (master) a má následující kroky:

1. PTP server periodicky vysílá **sync** zprávy. Čas odeslání je obsažen buď v **sync** zprávě, nebo je odeslán zvlášť ve zprávě **follow_up**. Obě zprávy (**sync** i **follow_up**) jsou odeslány pomocí broadcastu, nebo multicastu.
2. V případě, že má klient zájem o synchronizaci, tak si uloží čas doručení **sync** zprávy (t_1) a vyextrahuje čas jejího odeslání (t_0).
3. Dále klient vytvoří **delay_request** zprávu a uloží si čas jejího odeslání (t_2).
4. Server si uloží čas přijetí **delay_request** (t_3) a odešle ho klientovi ve zprávě **delay_response**.



Obrázek 5.3: Znázornění PTP synchronizačního algoritmu

Celý proces se může opakovat, aby si mohl klient vybrat nejlepší data. Udávaná vysoká přesnost synchronizace je zajištěna díky hardwarové podpoře při tvorbě časů. Při odesílání i přijímání zpráv vytváří časy t_0 až t_3 síťové rozhraní, takže se úplně eliminovala chyba vzniklá softwarem (latence operačního systému, obsluha přerušení). Navíc PTP definuje síťové prvky (routery, switchy), které nezpůsobí chybu synchronizace při čekání ve frontě.

5.2.4 Reference Broadcast Synchronization

Reference broadcast synchronization [3] je od NTP a PTP poměrně odlišný postup pro synchronizaci hodin. Přesnost záleží opět na hardwarové podpoře vytváření časových razítek a může dosahovat i několika mikrosekund.

Pokud chceme pomocí RBS synchronizovat N zařízení, tak potřebujeme celkem $N + 1$ zařízení (o jedno navíc). Zařízení, které je navíc nazveme řídicím zařízením.

Princip je velmi jednoduchý:

1. Řídicí zařízení odešle referenční synchronizační zprávu broadcastem.
2. Jednotlivá klientská zařízení si uloží čas přijetí referenční synchronizační zprávy.

3. Klientská zařízení si mezi sebou vymění informace o naměřených časech, a dohodnou se na jejich sjednocení (synchronizaci).

Z popsaného principu vyplývá první nedostatek – řídicí zařízení nebude synchronizováno. U bezdrátové časomíry bohužel nemáme žádný modul, který by mohl celou dobu zastávat funkci řídicí jednotky (která nebude synchronizována) – všechny moduly musí být synchronizovány. Proto by synchronizace musela proběhnout ve dvou fázích – při druhé musí funkci řídicího zařízení zastávat některý z již synchronizovaných modulů.

Dále je potřeba stanovit, jakým způsobem se zařízení dohodnou na sjednocení časů. Při větším počtu klientských zařízení je vše složitější. Pokud navážu na předchozí odstavec, tak při druhé fázi synchronizace původní řídicí zařízení nesmí vysílat svůj čas (protože je jediný nesynchronizovaný), ale pouze přijímat časy ostatních modulů.

Nejmenší možný počet zařízení jsou 3 (jedno řídicí, 2 klientské). To by znemožnilo použití minimální sestavy časomíry s jedním cílovým modulem a hlavní jednotkou. Výhodou tohoto algoritmu je úplné odstranění chyby odesílání dat (čekání ve frontě, přístup k médiu). Ale kvůli zmíněným nevýhodám je pro bezdrátovou časomíru nevyhovující.

5.2.5 Simple Network Time Protocol

Simple network time protocol je definován v [32]. Jeho přesnost je za určitých podmínek podobná jako u NTP, v běžných počítačových sítích se může zhoršit až na stovky milisekund.

Komunikace je stejná jako u NTP a to včetně výpočtu zpoždění (vzorec 5.1) a offsetu (vzorec 5.2). SNTP ale neřeší možné zpoždění na síťových prvcích, ani nefiltruje hodnoty, které se výrazně liší od ostatních. Nemá ani hardwarovou podporu při tvorbě času.

5.2.6 Výsledná volba

Při tvorbě časových razítek jsem se inspiroval protokolem PTP, který definuje hardwarovou podporu pro jejich tvorbu. Bezdrátový modul ihned po přijetí zprávy vygeneruje přerušení do mikrokontroléru, které bude ve velmi krátké době obslouženo, přičemž se uloží čas události. Nejedná se sice o přímou hardwarovou podporu tvorby časového razítka, ale výsledek bude v důsledku vysoké priority při obsluze přerušení podobný.

Bezdrátová časomíra nepoužívá switche, routery ani jiné podobné síťové prvky, které by mohly pakety náhodně pozdržet. Proto není třeba využívat dalších vlastností PTP, které toto zpoždění eliminují. Další specifické vlastnosti PTP nejsou třeba, proto jsou ostatní postupy (výpočty zpoždění a offsetu, komunikace) přejaty z jednoduchého SNTP.

5.3 Interní reprezentace času

Pro reprezentaci přesného času jsem si vytvořil strukturu obsahující:

- celkový počet sekund (celé číslo);
- hodnotu čítače reprezentující zlomky sekundy (až 32 767, tedy 16 bitů).

Nad touto strukturou jsou definovány různé aritmetické operace (např. sčítání, odčítání, porovnání), které usnadňují práci s tímto datovým typem v programu. Např. při sčítání hodnot čítače je potřeba kontrolovat jeho přetečení a případně inkrementovat celkový počet sekund. Díky přetížení operátorů tohoto datového typu je možné minimalizovat riziko zanesení chyby při běžných operacích.

5.4 Komunikační protokol – aplikační vrstva

Jako základní komunikační protokol je použit SimpliciTI, který řeší filtrování, připojování hlaviček ke zprávám, výpočet a ověření kontrolního součtu, a další běžné operace. SimpliciTI nám umožňuje vytvořit pouze aplikační vrstvu (tedy pro nás „užitečné“ zprávy) a o zbytek se nemusíme starat.

Návrh aplikační vrstvy komunikačního protokolu jsem započal už v bakalářské práci. Velkou část protokolu jsem pro nově navrhovanou časomíru upravil. Bohužel při implementaci jednotlivých zpráv jsem brzy narazil na problém s nedostatkem paměti v mikrokontrolérech. Z těchto důvodů jsou implementovány jen některé zprávy nutné pro základní, spolehlivé fungování časomíry. Vypustil jsem např. možnost párování modulů uživatelem, vzdálené nastavování parametrů jednotlivých modulů, apod. Implementovány jsou zprávy popsané v tabulce 5.1

Zpráva	Význam
DEVINFO_REQ	Požadavek ke zjištění informací o vzdálené jednotce.
DEVINFO_RESP	Odpověď s informacemi o vzdálené jednotce.
PING	Zpráva s dotazem na „živost“ vzdálené jednotky.
PONG	Odpověď od vzdálené jednotky potvrzující její správnou funkci.
TIMESYNC_INIT	Synchronizace hodin mezi jednotlivými moduly – inicializace (z hlavní jednotky do periferního modulu).
TIMESYNC_REQ	Synchronizace hodin mezi jednotlivými moduly – požadavek na odeslání časových razítek (z periferního modulu do hlavní jednotky).
TIMESYNC_RESP	Synchronizace hodin mezi jednotlivými moduly – odpověď s časovými razítky (z hlavní jednotky do periferního modulu).
TIMESYNC_FIN	Synchronizace hodin mezi jednotlivými moduly – oznámení o dokončení synchronizace (z periferního modulu do hlavní jednotky).
MEASURE_START	Zpráva nesoucí čas začátku měření.
MEASURE_START_ACK	Potvrzení přijetí zprávy MEASURE_START.
MEASURE_STOP	Zpráva nesoucí čas konce měření.
MEASURE_STOP_ACK	Potvrzení přijetí zprávy MEASURE_STOP.
MEASURE_RESET	Příkaz pro vynulování naměřených časů.
MEASURE_RESET_ACK	Potvrzení provedení příkazu MEASURE_RESET.

Tabulka 5.1: Zprávy komunikačního protokolu a jejich význam

5.4.1 Zprávy PING, PONG

Synchronizace hodin a komunikace při ní byla popsána již dříve. Další zajímavou částí komunikace jsou ping-pong zprávy, které s sebou nesou příznak `DateValid` (bude vysvětleno). Odesílání PING zpráv provádí pouze hlavní jednotka, která si zároveň udržuje seznam obdržených příznaků `DataValid` od ostatních modulů.

Příznak `DateValid` slouží k informování, že komunikace probíhá spolehlivě, a všechny zprávy byly úspěšně doručeny. Pokud by nastal např. v průběhu měření času vypadla komu-

nikace s cílovým modulem, tak díky negativnímu příznaku DataValid zhasne velký zobrazovací panel, aby divákům (resp. závodníkům) neukazoval neaktuální nebo neplatné údaje.

5.5 Ovládání LED zobrazovacích panelů

Už při popisu hardware zobrazovacích modulů vyplynuly některé požadavky na jejich způsob ovládání.

Zobrazovací moduly jsou grafické. Stav jednotlivých LED diod (svítí/nesvítí) ukládám do pomocného pole screenRam. Uspořádání dat v tomto poli odpovídá řádkům a sloupcům displeje. Obsah tohoto pole je pravidelně posílán po sběrnici SPI do LED panelu. Frekvence odesílání dat je nastavena HW časovačem mikrokontroléru na 400 Hz, přičemž při odeslání dat je vždy odeslána 1 ze 4 skupin řádků (odpovídá multiplexování). Výsledná obnovovací frekvence je tedy 100 Hz.

Při běžícím čase, nebo obecně při zobrazování jakéhokoliv pohyblivého obsahu, je potřeba pole screenRAM často upravovat. Během těchto úprav je zároveň potřeba z pole číst, což by se projevilo na výsledném obraze – mohl by být vidět nedokončený obraz, artefakty. Proto používám 2 pole, z nichž jedno slouží pro přípravu obrazových dat, a druhé pro jejich výpis. Prohození ukazatelů na tyto pole je jednoduchá, rychlá operace, která se provede ve správnou chvíli, a v obraze tak nejsou vidět defekty.

Pro tvorbu obsahu paměti screenRAM jsem vytvořil vlastní funkce. Inspiroval jsem se podobnou knihovnou DMD [4]. Dále jsem potřeboval vytvořit binární reprezentaci číslic (a dalších znaků), k čemuž jsem využil program The Dot Factory [18], který dokáže převést vybraný font do bodového formátu, a zakódovat ho do C pole.

5.5.1 Výkonnost

Vzhledem k rozdílnosti uspořádání LED diod na panelu a jejich fyzického zapojení, se polem screenRAM neprochází lineárně, ale různě se v něm skáče. Tento způsob je sice výkonově náročnější, zvolený mikrokontrolér jej zvládá i při sériovém propojení 3 panelů.

Druhou variantou by bylo uspořádat pole tak, aby při SPI komunikaci bylo procházeno lineárně. Tvorba obsahu tohoto pole by byla náročnější – musely by se počítat skutečné pozice daných pixelů. Vzhledem k tomu, že frekvence výpisu obrazových dat je několika-násobně větší, než frekvence jejich změny, pak by se jednalo o výkonnější řešení. Pokud bychom pro odesílání dat po SPI použili DMA¹, pak bychom mohli dosáhnout ještě většího zrychlení.

Nejvýkonnějším řešením je použití FPGA (hradlového pole). Jejich výhodou je v tomto případě vyšší frekvence SPI, a čistě hardwarové řešení všech operací. FPGA se pro LED zobrazovací panely běžně používají při jejich větším množství, nebo v případě RGB varianty, která vyžaduje 6 SPI sběrnic. Pro naše účely by se však jednalo o nepřiměřeně drahé řešení.

5.6 Ovládání ostatních periférií

5.6.1 Tlačítka

U tlačítek pro ovládání jednotky jsem zaznamenal nepříjemný jev – kmitání při stisku (tzv. bouncing). Toto kmitání způsobuje problémy při vyhodnocení stisku tlačítka mikrokontrolérem – bylo by vyhodnoceno jako několik stisků tlačítka. Proto je potřeba pro sledování

¹DMA – Direct Memory Access

stavu tlačítek vytvořit algoritmus, který se s podobným kmitáním dokáže vypořádat. Zvolil jsem následující postup (zjednodušeně):

1. Čekám, dokud se neobjeví sestupná hrana signálu (pomocí přerušení).
2. (a) Nastavím příznak, že tlačítko bylo stisknuto a běží ochranný interval.
(b) Spustím časovač na cca 65 ms (odpočet směrem dolů).
(c) Zavolám obsluhu stisku tlačítka. Pokud se objeví během ochranného intervalu další hrana signálu, pak obsluha stisku tlačítka není znovu volána.
3. Čekám na vypršení časovače ochranného intervalu. Poté nuluji příznak o stisku tlačítka a ochranném intervalu.

Čekání na výše uvedené události neprobíhá blokujícím způsobem (ve smyčce), ale je řešeno pomocí přerušení. Mikrokontrolér se tak může věnovat dalším činnostem – např. bezdrátové komunikaci, výpisu obsahu na displej, apod.

5.6.2 LCD displej

Vybraný LCD displej používá řadič HD44780 [23]. Pro jeho ovládání jsem použil knihovnu LiquidCrystal [13], která byla napsána pro Arduino, provedl jsem proto její portaci na platformu TI Tiva.

Jas a kontrast displeje je řízen pulsně-šířkovou modulací. PWM signál je generován speciálním hardwarem mikrokontroléru, procesor tento hardware pouze nastaví a dále není zatěžován.

5.6.3 Komunikace s jednotnou napájecí deskou

Jednotná napájecí a nabíjecí deska obsahuje řadu signálů, které vedou do mikrokontroléru. Jedná se např. o monitorování průběhu nabíjení akumulátoru, měření jeho napětí. Měření napětí akumulátoru probíhá v intervalech, a je prováděno AD převodníkem. Naměřenou hodnotu napětí převádím na procentuální úroveň nabití pomocí pevně dané tabulky – její hodnoty jsem určil experimentálně (průběžným vybíjením akumulátoru a zapisováním hodnot).

5.7 Programování mikrokontrolérů

Firmware byl vyvíjen v prostředí TI Code Composer Studio, které je dostupné zdarma i pro komerční účely.

Ze začátku jsem při ovládání mikrokontroléru používal přímo jeho registry, což bylo značně pracné. Později jsem zjistil, že TI pro své mikrokontroléry řady MSP430 i Tiva dodává HAL² knihovnu Driverlib, kterou jsem využil.

Nahrání firmware do mikrokontrolérů je možné přes rozhraní SpyBiWire (v případě mnou použitých MSP430) a JTAG (pro Tiva TM4C123). Zmíněná rozhraní jsou vyvedena na vývojových kitech TI, které jsem používal pro ověření dílčích funkcí (před výrobou vlastního hardware) a poté pro programování (flashování).

²Hardware Abstraction Layer

Kapitola 6

Prototyp, testování

6.1 Prototyp časomíry

Pro ověření klíčových vlastností navrženého systému jsem vyrobil časomíru s následujícími moduly: hlavní jednotka s LCD displejem, cílový modul (včetně reléového výstupu), startovací modul, dvouřádkový LED zobrazovací panel (rozměr řádku 16×96 cm).

Sestavu časomíry jsem vyráběl za účelem jejího pozdějšího testování na soutěži TFA. Je ji však možné použít taky pro měření jedné soutěžní dráhy běhu na 100 m s překážkami, a podobných disciplín.

Jednotlivé moduly časomíry byly vestavěny do provizorních přístrojových krabiček. Cílový modul se podařilo zkonstruovat voděodolně. Startovací modul a hlavní jednotka voděodolné nejsou kvůli přebytným otvorům v krabičkách. Jedná se o prototyp, v další fázi vývoje (výroby) časomíry se zlepší i mechanické provedení.

6.2 Dosah bezdrátových modulů

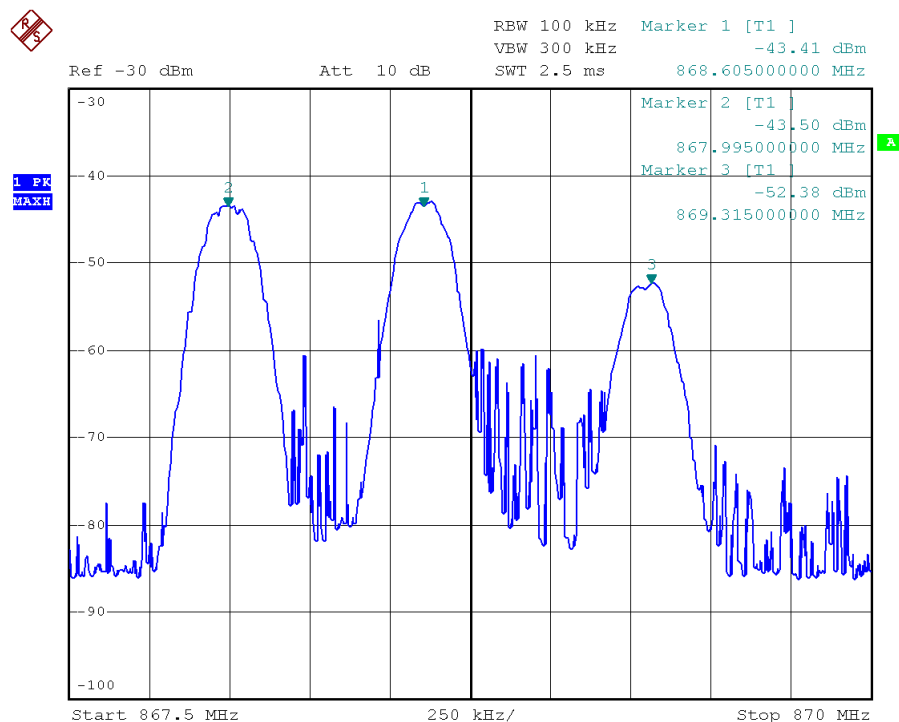
Velmi důležitým parametrem, který bylo potřeba ověřit, je dosah bezdrátových modulů. Při vývoji jsem totiž opakovaně narazil na problém s krátkým dosahem (pouze desítky metrů), přitom jiní vývojáři dosahovali lepších výsledků (stovky metrů).

Výpočet teoretického dosahu použitých bezdrátových modulů je možné provést pomocí sešitu v Excelu přímo od výrobce čipů – Texas Instruments [65]. Pro zvolený čip, rychlost a další parametry vychází realistický odhad dosahu 386 m. Používám následující parametry: rychlost 38,2 kbps, prutové antény optimalizované pro pásmo 868 MHz (zisk 1 dBm), vysílací výkon 10 dBm, výška (umístění) antény 1 m nad zemí.

Protože jsem si nebyl jistý, zda se použité bezdrátové moduly chovají správně, tak jsem provedl jejich měření na spektrálním analyzátoru (ve školní laboratoři). Kromě bezdrátových modulů v časomíře jsem zároveň měřil zapůjčené moduly CC1120 na vývojovém kitu, a moduly Anaren s PCB anténou. Obrazovka z tohoto měření, na které jsou zachyceny maximální úrovně signálu, je na obrázku 6.1 (marker 1 je časomíra s moduly CC1101, marker 2 jsou moduly CC1120, marker 3 moduly Anaren).

Měřením na spektrálním analyzátoru však nebyly odhaleny žádné závažné nedostatky. Je vidět slabší úroveň signálu z modulů Anaren, což přisuzuji PCB anténě (ostatní moduly používaly prutové antény).

Při dalším ladění jsem zjistil, že problém byl v nastavení registrů bezdrátového modulu určující úroveň citlivosti v režimu příjmu. Nutno poznamenat, že problémové nastavení



Obrázek 6.1: Měření bezdrátových modulů na spektrálním analyzátoru

registru bylo vyexportováno z nástroje SmartRF Studio přímo od výrobce – proto jsem z počátku zkoumal ostatní možnosti.

Měření dosahu jsem prováděl prakticky v Brně i v Traplicích. V obou případech se podařilo při přímé viditelnosti dosáhnout spolehlivé komunikace na vzdálenost 250 m. Tento dosah považuji pro bezdrátovou časomíru pro hasičské sporty za plně dostačující – nejdelší vzdálenost u těchto disciplín činí cca 100 m.

6.3 Experimentální ověření navrženého řešení

Pro ověření klíčových vlastností časomíry jsem připravil řadu různě náročných testovacích scénářů, které jsou uvedeny v kapitole C. Testovací scénáře jsou seřazeny od nejjednoduššího po nejkomplexnější. Cílem prvního scénáře bylo ověřit základní funkčnost časomíry – počáteční synchronizaci hodin. Další testy se zabývají i rušením bezdrátové komunikace v různých (i kritických) okamžicích.

Sestavený prototyp časomíry byl postupně podroben všem připraveným testům (a také dalším, které zde nejsou uvedeny). Všechny testy byly úspěšně splněny, přičemž byla ověřena správná přesnost měření času (alespoň 0,01 s) a synchronizace hodin.

6.4 Praktické nasazení navrženého řešení

Prototyp byl v různých fázích svého vývoje otestován na skutečných soutěžích v TFA – TFA Jankovice (dvakrát), TFA Salašská rozhledna (jednou). Na těchto soutěžích bylo úspěšně změřeno přes 100 závodníků, ani v jednom případě nedošlo k selhání časomíry.

Dokonce byl naplno využit navržený protokol komunikace a synchronizace, protože při jednom pokusu došlo k poškození antény cílového modulu (v tu chvíli nebylo možné přenášet data) – časomíra se z tohoto stavu po výměně antény dokázala zotavit a zobrazit správný čas.

Osvědčilo se taky univerzální rozhraní pro připojení senzorů a příslušenství. Pořadatel soutěže TFA na Jankovicích požadoval v cíli připojení plamenometu (pódiového chrliče ohně), který po proběhnutí závodníka cílem vyšlehne plameny. Navržené rozhraní vyhovělo bez úprav i tomuto neobvyklému požadavku. Fotka ze soutěže je na obrázku 6.2.



Obrázek 6.2: TFA Jankovice – cíl s připojeným chrličem ohně (Autor: archiv SDH Jankovice)

Kapitola 7

Další generace hardware

Při vývoji a testování prototypu postupně vznikaly nové požadavky na systém časomíry. Další poznatky vzešly z testování prototypu jak v laboratorních podmínkách, tak i na soutěžích. Implementace těchto požadavků a poznatků vyžaduje návrh nového hardware. Nejedná se naštěstí o změny, které by měnily celou strukturu systému časomíry – upravovány jsou pouze jednotlivé moduly.

7.1 Propojení uvnitř modulů

Většina modulů časomíry se skládá ze 2 DPS – mikroprocesorová a napájecí. Tyto desky jsou u prototypu propojeny konektory s kabelem, což je velmi pracné na výrobu. Nový hardware proto sjednocuje rozměry desek tak, aby je bylo možné uspořádat nad sebou, nebo vedle sebe, a propojit je pomocí dutinkové (resp. hřebínkové) lišty.

Zbývající konektory na DPS (např. pro připojení LED, vodotěsných konektorů apod.) byly nahrazeny jinými. V prototypu jsou používány konektory MX-22-01 [72], které nedrží příliš pevně a vlivem vibrací se některé rozpojovaly. Proto jsem je nahradil konektory JST [70], které jsou rozměrově podobné, ale jsou mnohem pevnější.

7.2 Napájení a nabíjení

Obvody pro napájení a nabíjení byly upraveny v několika ohledech. Na první pohled je vidět, že došlo k úpravě rozměrů desky tak, aby se vešla do zvolené krabičky – krabička má hliníkové drážky, deska se do těchto drážek zasune. Změnilo se taky osazení desky součástkami, které jsou nyní z obou stran – druhá strana je využita zejména pro držáky akumulátorů a jiné vysoké součástky (např. pojistka, výkonové tranzistory). Hlavním důvodem pro oboustranné osazování bylo právě umístění držáků akumulátorů na desku, protože jejich uchycení v přístrojové krabičce bylo problematické. Došlo také ke změně konektorů na JST, která byla popsána již v předchozí podkapitole – důvodem bylo zajištění vyšší mechanické pevnosti spojení (původní konektory se při vibracích samy rozpojovaly).

Při testování napájecí a nabíjecí desky byly objeveny některé chyby, které nově navržený hardware řeší. Asi nejvýznamnější problém se týkal nabíjení – kvůli špatně otočenému unipolárnímu tranzistoru neprobíhala řízená regulace, nabíjení nebylo možné vypnout ani při naměření příliš vysoké teploty. Signalizace nabíjení byla invertovaná kvůli přehození vstupů ke komparátoru. Dále byly přepočítány hodnoty součástek – některé byly poddimenzované. Přibyla také ESD ochrana vstupu napájení z externího zdroje pomocí transilu.

Napájecí deska má nově signál pro spínání 12 V větve, kterou je tak možné ovládat z mikrokontroléru – lze dosáhnout nižší spotřeby např. vypínáním napájení optických bran ve chvílích, kdy nejsou používány.

7.3 Hlavní jednotka

LCD displej (znakový, čtyřřádkový) prototypu hlavní jednotky se postupně jevil jako nedostatečný. Rozhodl jsem se proto ho nyní nahradit displejem grafickým 128×64 bodů. Zvolený displej má větší zobrazovací plochu a je možné jej libovolně ovládat (nejsme závislí na vestavěné znakové sadě, jako u původního displeje). Při průzkumu dostupného zboží jsem zjistil, že některé displeje podporují sériovou komunikaci, některé však stále vyžadují paralelní komunikaci po mnoha vodičích. Kvůli budoucí kompatibilitě s různými displeji bylo potřeba změnit rozhraní pro připojení LCD displeje, které nyní používá 20-pinový konektor. Navýšení počtu signálů si vyžádalo doplnění dalšího převodníku napěťových úrovní (3,3 V a 5 V) a změnu mikrokontroléru na typ TM4C123GH6PZ (stejně jádro, knihovny, pouze se zvětšilo pouzdro). Další změnou je drobná úprava v PWM regulaci kontrastu, protože některé LCD displeje používají vlastní záporné napětí (doplnil jsem proto jumper).

Pro lepší interakci s uživatelem (obsluhou časoměry) je dále doplněn vestavěný piezo reproduktor. Jeho využití zatím není přesně dáno, ale může signalizovat důležité události např. nulování, ukončení měření, chybu apod.

Ovládání hlavní jednotky pomocí pěti tlačítek zůstalo zachováno. K tlačítkům je nově přivedeno mikrokontrolérem spínané napětí pro podsvícení tlačítek (pokud bude požadováno).

Jelikož není do budoucna jisté, které bezdrátové moduly budou používány, tak jsem je přesunul na zvláštní DPS, která se na hlavní jednotku připojuje pomocí dutinkové (resp. hřebínkové) lišty. Výměna za jiný typ modulu znamená pouze úpravu mezidesky, není potřeba měnit celou DPS hlavní jednotky.

Na DPS dále přibyla baterka CR2032 pro udržování nastaveného času. U spousty disciplín je totiž potřeba zapisovat čas ukončení daného pokusu (kvůli lhůtě k podávání protestů). Při resetu časoměry dosud nebyl použit žádný prvek, který by nastavený datum a čas udržel v paměti. Existuje sice možnost využít modul DCF, což je zařízení schopné přijímat a zpracovat rádiový časový signál (ve střední Evropě je to DCF77). Toto řešení je však kvůli velkým rozměrům (anténa, feritové jádro) a poměrně vysoké ceně nevhodné.

7.4 Periferní moduly

Původní cílový a startovací modul jsem přejmenoval na periferní moduly, které budou mít navržen stejný hardware. Až při jejich výrobě je možné některé součástky neosadit (dle požadavků zákazníka) a snížit tak cenu.

Hlavním problémem startovacího a cílového modulu je nedostatek paměti mikrokontroléru. Rozhodl jsem se z řady MSP430FR přejít na již známý Tiva TM4C123GH6PM. Cena je podobná, paměť je mnohonásobně větší (256 kB). Do budoucna tak lze uvažovat i o dálkové (bezdrátové) aktualizaci firmware, což vyžaduje rozdělení paměti na několik částí – vlastní bootloader, 2 paměti pro firmware (jedna pro původní – funkční, druhá pro ten nově nahrávaný).

V případě použití jako cílový modul může být u některých disciplín požadavek na 2 vstupy pro senzory a 2 výstupy. Příkladem je disciplína štafeta dvojic (kromě optické brány

se připojuje signál od rozhodčího pro určení posledního závodníka). Dále mě napadlo možné budoucí využití u požárního útoku – nastavení sklopných terčů elektromotorem nebo vypuštění nástríkových terčů elektromagnetickým ventilem (nyní provádí pomocní rozhodčí).

7.5 U všech modulů

7.5.1 Rozhraní pro programování a ladění

Pro usnadnění ladění jsem na programovací konektor přivedl UART sběrnici, po které je možné posílat ladicí zprávy. Na programovací konektor je dále přiveden signál 1PPS pro kalibraci časomíry.

Jelikož používají zmíněné moduly stejný mikrokontrolér, tak je programovací konektor pro všechny stejný – zapojení konektoru je v tabulce 7.1.

Pin	Název	Účel
1	GND	Napájení – zem.
2	PWR_3V3	Napájení – 3,3 V.
3	UART_RX	Debug rozhraní.
4	UART_TX	Debug rozhraní.
5	MCU_RESET	Reset procesoru.
6	CAL_1PPS	Kalibrační signál.
7	PROG_TCK	Programovací rozhraní (JTAG) – Clock.
8	PROG_TMS	Programovací rozhraní (JTAG) – Mode Select.
9	PROG_TDO	Programovací rozhraní (JTAG) – Data Out.
10	PROG_TDI	Programovací rozhraní (JTAG) – Data In.

Tabulka 7.1: Zapojení programovacího a ladicího konektoru

7.5.2 Snímání stavů senzorů

Při snímání stavů senzorů dosud nebyl zohledňován proud, který senzorem teče. Pokud známe správnou hodnotu proudu a dokážeme ho změřit, tak můžeme detekovat např. zaoxidovaný kontakt a předejít tak problémům.

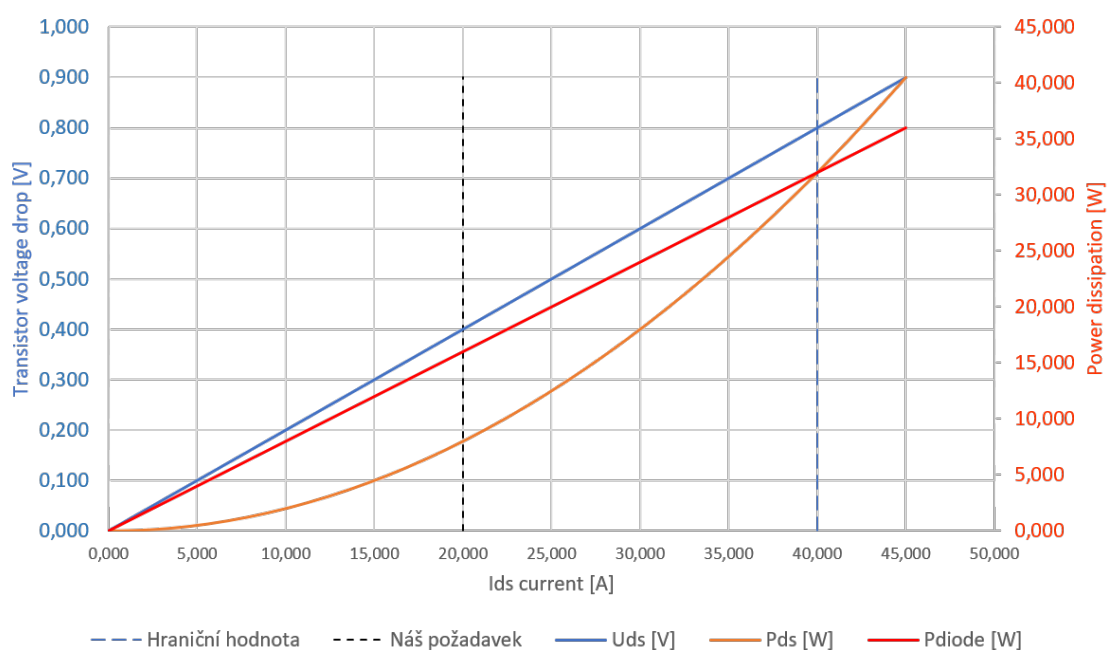
Přidal jsem proto za optočlen rezistor, na němž budu měřit úbytek napětí, z čehož lze následně spočítat protékající proud. Firmware časomíry bude nastaven (pro každý senzor zvlášť), aby sledoval, zda je proud procházející senzorem v určité toleranci.

7.6 LED zobrazovací panel

Pro zobrazovací panel jsem připravil změnu napájení. Dříve jsem totiž používal pouze zdroj na 230 V. Nyní je možné použít napětí o známém rozsahu 12-30 V, z kterého je pomocí DC/DC měniče tvořeno 5 V. Jelikož je odběr z 5 V na úrovni desítek ampér, tak docházelo při zapínání DC/DC měniče k velkým špičkám. Použitý měnič [7] není vybaven ochranou proti přepólování.

Proto jsem navrhl obvod pro soft-start a ochranu proti přepólování pomocí unipolárních tranzistorů. Při dobré volbě unipolárního tranzistoru je možné dosáhnout menších úbytků napětí (a tedy menších výkonových ztrát) než při použití diod. Při proudech na úrovni desítek ampér je tento přístup jednoznačně výhodnější.

Srovnání mezi unipolárním tranzistorem a diodou jsem provedl v Excelu, graf můžete vidět na obrázku 7.1. V tomto případě jsem se zabýval ochranou proti přepólování pro jmenovitý proud 20 A. Důležitým parametrem je v případě diody úbytek napětí v propustném směru, a v případě unipolárního tranzistoru odpor v sepnutém stavu. Při tak velkém proudu bude úbytek napětí na diodě (Schottkyho) cca 0,8 V, což znamená 16 W tepla. Unipolární tranzistor (za podobnou cenu jako dioda) má odpor v sepnutém stavu 20 mΩ, z čehož vychází úbytek napětí pouze 0,4 V a 8 W tepla. V tomto případě je tedy použití unipolárního tranzistoru lepší, než použití diody právě kvůli výrazně nižším ztrátám (poloviční). Při dalším zvyšování proudu bychom se dostali na hraniční hodnotu (znázorněno modrou svislou přerušovanou čarou), kdy ztráty na tranzistoru začnou rychle přesahovat ztráty na diodě – je možné použít diodu, nebo najít jiný tranzistor (s menším odporem v sepnutém stavu).



Obrázek 7.1: Srovnání výkonových ztrát na unipolárním tranzistoru a diodě

Kapitola 8

Závěr

Po nezbytném seznámení s velkým množstvím disciplín hasičského sportu (více než 15), požadavky na jejich měření, používané senzory a jejich příslušenství, byla vytvořena specifikace bezdrátové časomíry. Postupně bylo navrženo rozdělení do několika bezdrátově komunikujících modulů, které dohromady tvoří škálovatelný systém. Bezdrátová komunikace nahradila dlouhé kabelové spoje, které jsou častým zdrojem chyb měření (kvůli jejich snadnému poškození), a jejichž instalace (rozmotání) je zdlouhavá.

Aby byla zajištěna univerzalita senzorů a příslušenství napříč jednotlivými moduly, bylo navrženo vhodné rozhraní pro jejich připojení. Optická brána, startovací pistole, spínač na terči i další senzory – všechny používají stejný konektor, který má pouze 4 piny. Podobně univerzální rozhraní bylo vytvořeno pro příslušenství časomíry jako je např. osvětlení terče, signalizace shoení terče, nebo dokonce spínaný chrlíč ohně.

Přesnost měření si vyžádala použití algoritmu synchronizace hodin, kterých bylo prozkoumáno větší množství. Vybraný synchronizační algoritmus byl mírně upraven pro specifické potřeby navrhované časomíry a implementován. Spolehlivost měření je zajištěna komunikačním protokolem – základ tvoří protokol nabízený k bezdrátovým modulům (který musel být taktéž upraven), aplikační vrstva je vlastní.

Navržený systém byl implementován formou prototypu, který dokáže měřit disciplíny TFA a běhy v jedné dráze (např. běh na 100 m s překážkami). Problémem při implementaci firmware byl nedostatek paměti v mikrokontrolérech, kvůli kterému bylo nutné některé funkce vynechat (např. dynamické párování modulů). Pro ověření navrženého řešení a správné funkce postaveného prototypu bylo sestaveno několik testovacích scénářů. I přes zmíněný problém s nedostatkem paměti zůstaly klíčové vlastnosti časomíry (spolehlivost, přesnost měření) zachovány. Prototyp byl použit na 3 soutěžích v disciplínách TFA, kde bezchybně změřil více než 100 závodníků.

Práce byla při svých dřívějších stádiích prezentována na konferenci Excel@FIT [36], kde získala ocenění za výjimečnou práci (od firem Edhouse a NXP) a ocenění odborného panelu. Dále byla časomíra zapojena do celoevropské soutěže TIIC (Texas Instruments Innovation Challenge) [38], ve které obsadila 1. místo ve své kategorii.

Už při vývoji prototypu vznikaly nové požadavky na systém časomíry. Další poznatky vzešly z testování prototypu jak v laboratorních podmínkách, tak i na soutěžích. Poslední kapitola se proto věnuje návrhu další generace hardware, ve kterém jsou zapracované zjištěné poznatky. Moje další činnost bude směřovat k návrhu a sestavení nového prototypu bezdrátové časomíry.

Literatura

- [1] ČSN EN 60529 (330330) A Stupně ochrany krytem (krytí – IP kód). Český normalizační institut, 1993, ISBN 80-7196-264-3.
- [2] IEC/IEEE Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems (Adoption of IEEE Std 1588–2008). *IEEE 1588 IEC 61588 First edition 2004–09*, 2004, doi:10.1109/IEEESTD.2004.95751.
- [3] IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems. *IEEE Std 1588-2008 (Revision of IEEE Std 1588-2002)*, 2008: s. c1–269, doi:10.1109/IEEESTD.2008.4579760.
- [4] Alexander, M.: DMD library. 2014, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <https://github.com/freetronics/DMD>
- [5] ALGE-TIMING: ALGE-TIMING – Home. [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL https://alge-timing.com/AlgeTiming_V2/en/home.html
- [6] AliExpress: 3pin Voice Sound Detection Sensor Module. [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <https://www.aliexpress.com/item/3pin-Voice-Sound-Detection-Sensor-Module-for-Arduino-DIY-Intelligent-Smart-Vehicle-Robot-Helicopter-Airplane-Aeroplane/32465887653.html>
- [7] AliExpress: 12V to 5V 24V to 5V Step Down DC DC Converter 40A Power Supply 8-36V to 5V DC-DC Buck Converters 200W. 2018, [Online; navštíveno 19. 5. 2018].
URL <https://www.aliexpress.com/item/DC-DC-Converter-24V-12V-To-5V-40A-200W-Car-LED-Power-Supply-Step-Down/32794799601.html>
- [8] AliExpress: CC1101 868MHz Transceiver E07-868MS10 rf Module CDSNET Wireless Receiver. 2018, [Online; navštíveno 15. 5. 2018].
URL <https://www.aliexpress.com/item/2PC-Lot-E07-868MS10-CC1101-868MHz-Long-Range-1000m-SPI-Transceiver-Module-Original-CDSNET-Wireless-Data/32800599482.html>
- [9] AliExpress: CC1101 wireless module Long Distance Transmission Antenna 868MHZ. 2018, [Online; navštíveno 15. 5. 2018].
URL <https://www.aliexpress.com/item/NEW-CC1101-wireless-module-Long-Distance-Transmission-Antenna-868MHZ/32599592298.html>
- [10] AliExpress: LCD Board 2004 20x4 LCD 5V Blue screen backlight. 2018, [Online; navštíveno 15. 5. 2018].

- URL <https://www.aliexpress.com/item/Free-shipping-LCD-Board-2004-20-4-LCD-20X4-5V-Blue-screen-LCD2004-display-LCD-module/32555852972.html>
- [11] AliExpress: P10 Blue Outdoor LED Module 32x16. 2018, [Online; navštíveno 15. 5. 2018].
URL <https://www.aliexpress.com/item/p10-blue-outdoor-led-module-IP65-320MM-160MM-32-16-one-color-green-water-proof/32372041501.html>
- [12] Anaren: AIR for Proprietary RF. 2018, [Online; navštíveno 15. 5. 2018].
URL <https://www.anaren.com/catalog/wireless-transceivers/proprietary-rf>
- [13] Arduino: LiquidCrystal Library. 2018, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <https://www.arduino.cc/en/Reference/LiquidCrystal>
- [14] Arduino-Shop.cz: CC1101 Bezdrátový Modul 868MHZ M115 pro Přenos na Dlouhé Vzdálenosti plus Anténa. 2018, [Online; navštíveno 15. 5. 2018].
URL <https://arduino-shop.cz/arduino/1401-cc1101-bezdratovy-modul-868mhz-m115-pro-prenos-na-dlouhe-vzdalenosti-plus-antena-1474446179.html>
- [15] BatteryExpert: Autobaterie BOSCH S3 002, 45Ah, 12V. 2018, [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <https://www.battery.cz/autobaterie-bosch-s3-002-45ah-12v-0-092-s30-020.html>
- [16] Cena, G.; Scanzio, S.; Valenzano, A.; aj.: The reference-broadcast infrastructure synchronization protocol. In *Proceedings of 2012 IEEE 17th International Conference on Emerging Technologies Factory Automation (ETFA 2012)*, 2012, ISSN 1946-0740, doi:10.1109/ETFA.2012.6489696.
- [17] Cena, G.; Scanzio, S.; Valenzano, A.; aj.: Implementation and Evaluation of the Reference Broadcast Infrastructure Synchronization Protocol. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, ročník 11, č. 3, June 2015: s. 801–811, ISSN 1551-3203, doi:10.1109/TII.2015.2396003.
- [18] Duchan, E.: The Dot Factory: An LCD Font and Image Generator. 2009, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.eran.io/the-dot-factory-an-lcd-font-and-image-generator/>
- [19] Elektro Jiří Zdeněk: Hasičský sport. [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <http://elektrozdenek.wbs.cz/Hasicsky-sport.html>
- [20] FireTV: Mistrovství ČR Plamen 2017 – Zlín. 2017, [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL http://firetv.cz.rajce.idnes.cz/mcr_zlin/
- [21] Frydrych, M.: *Bezdrátová elektronická časomíra s velkým LED zobrazovačem*. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010.
URL https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28149

- [22] Hasičský záchranný sbor hl. m. Prahy: Mistrovství ČR v požárním sportu 2017. 2017, [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <http://www.mrps2017.cz/>
- [23] HITACHI: HD44780U (Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver). 1998, [Online; navštíveno 15. 5. 2018].
URL <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/HD44780.pdf>
- [24] Holinka, M.: *Bezdrátové měřicí zařízení pro soutěže v požárním sportu*. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií, 2012.
URL <http://www.fit.vutbr.cz/study/DP/DP.php?id=13391&file=t>
- [25] HZS ČR: *Pokyn generálního ředitele Hasičského záchranného sboru ČR ze dne 18.2.2015, kterým se vydávají pravidla soutěže v disciplínách TFA*. [Online; navštíveno 10. 1. 2018].
URL <http://www.hzscr.cz/soubor/pravidla-tfa-2015-pdf.aspx>
- [26] HZS ČR: *Požární sport*. [Online; navštíveno 9. 1. 2018].
URL <http://www.hzscr.cz/clanek/pozarni-sport-439064.aspx>
- [27] HZS ČR: *Sport*. [Online; navštíveno 9. 1. 2018].
URL <http://www.hzscr.cz/info-servis-sport.aspx>
- [28] Januš, T.: *Univerzální časomíra pro sportovní aktivity*. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014.
URL https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=88487
- [29] KNĚZEK s.r.o.: Časomíra pro požární útok. [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <https://www.knezek.cz/print.php?detail=617>
- [30] Kysela, M.: Časomíra pro požární sport, hasičské a sportovní zápasy. [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <http://www.markytronic.cz/allinone.htm>
- [31] Mikulčák, J.: *Matematické, fyzikální, chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. PROMETHEUS, 2003, ISBN 80-7196-264-3.
- [32] Mills, D.: Simple Network Time Protocol (SNTP) Version 4 for IPv4, IPv6 and OSI. leden 2006 [cit. 2015-05-08], [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ietf.org/rfc/rfc5905.txt>
- [33] Mills, D.; Delaware, U.; Martin, J.; aj.: Network Time Protocol Version 4: Protocol and Algorithms Specification. 2010, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ietf.org/rfc/rfc5905.txt>
- [34] NEUTRIK: Neutrik XLR Connectors. [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <http://www.neutrik.com/en/xlr/>
- [35] Novobilský, P.: *Systém elektronické časomíry s bezdrátovým připojeným terčem a hlavního zobrazovače*. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009.
URL https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=18309

- [36] Pelka, T.: *Spolehlivá bezdrátová časomíra (nejen) pro požární sport*. [Online; navštíveno 10. 1. 2018].
URL <http://excel.fit.vutbr.cz/submissions/2016/052/52.pdf>
- [37] Pelka, T.: *Bezdrátová komunikace v oblasti požárního sportu*. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií, 2015.
URL <http://www.fit.vutbr.cz/study/DP/BP.php?id=17910>
- [38] Pelka, T.; Pospíšil, T.: *Wireless system for time measurement in sports*. [Online; navštíveno 10. 1. 2018].
URL http://www.ti.com/graphics/reserved/eugraphics/TIIC_2016_Website/Brno-Team-Project.pdf
- [39] Požáry.cz: Kontejner HZS MSK s časomírou pro požární sport. [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <https://www.pozary.cz/clanek/13146-kontejner-hzs-msk-s-casomirou-pro-pozarni-sport/>
- [40] Premier Farnell plc.: Guide To Battery Selection. 2009, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://ecsn-uk.org/Legislation/Batteries/2Batteries%20-%20Selection%20Guide%20oct09.pdf>
- [41] Redakce HW serveru: RS 485 & 422. 1998, [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/rs-485-422.html>
- [42] SH ČMS: *Hra Plamen*. [Online; navštíveno 9. 1. 2018].
URL <https://mladez.dh.cz/index.php/sportovni-cinnost/hra-plamen>
- [43] SH ČMS: *Klasické disciplíny CTIF*. [Online; navštíveno 9. 1. 2018].
URL <https://sport.dh.cz/index.php/klasicke-discipliny-ctif>
- [44] SH ČMS: *Požární sport*. [Online; navštíveno 9. 1. 2018].
URL <https://sport.dh.cz/index.php/pozarni-sport>
- [45] SH ČMS: *Směrnice hasičských sportovních soutěží pro muže a ženy*. [Online; navštíveno 10. 1. 2018].
URL <https://sport.dh.cz/images/Dokumenty/sport/dokumenty/smernice2012.pdf>
- [46] SH ČMS: *Směrnice hry Plamen*. [Online; navštíveno 10. 1. 2018].
URL <https://mladez.dh.cz/images/Dokumenty/mladez/Plamen/Smernice-Plamen-2016/smernice-plamen-2016.pdf>
- [47] SH ČMS: *Směrnice pro činnost dorostu SH ČMS*. [Online; navštíveno 10. 1. 2018].
URL https://mladez.dh.cz/images/Dokumenty/mladez/dorost/smernice-2007/smernice_pro_cinnost_dorostu_2007.pdf
- [48] SH ČMS: *Soutěžní řád mezinárodní hasičské soutěže v tradičních disciplínách CTIF*. [Online; navštíveno 10. 1. 2018].
URL <https://sport.dh.cz/images/Dokumenty/sport/CTIF/souteznirad.pdf>

- [49] SH ČMS: *Sport - úvod*. [Online; navštíveno 9. 1. 2018].
URL <https://sport.dh.cz/>
- [50] Texas Instruments: Advanced Linear Charge Management IC for Single/Two-Cell Lithium-ion and Lithium-polymer. 2002, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq2057.pdf>
- [51] Texas Instruments: Selection and Specification of Crystals for Texas Instruments USB 2.0 Devices. 2002, [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/an/slla122/slla122.pdf>
- [52] Texas Instruments: 2-A, WIDE INPUT RANGE, STEP-DOWN CONVERTER. 2006, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps5420.pdf>
- [53] Texas Instruments: TI GPS PPS Timing Application Note. 2012, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL
http://processors.wiki.ti.com/images/f/f1/TI_GPS_PPS_Timing_AppNote.pdf
- [54] Texas Instruments: LM3481 High-Efficiency Controller for Boost, SEPIC and Flyback DC-DC Converters. 2014, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3481.pdf>
- [55] Texas Instruments: Tiva TM4C123GH6PM Microcontroller. 2015, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tm4c123gh6pm.pdf>
- [56] Texas Instruments: Switching Regulator Fundamentals. 2016, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/an/snva559a/snva559a.pdf>
- [57] Texas Instruments: LM284x 100, 300, or 600-mA 42-V Input Step-Down DC-DC Regulator in Thin SOT. 2017, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2842.pdf>
- [58] Texas Instruments: LM393, LM293, LM193, LM2903 Dual Differential Comparators. 2017, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm293.pdf>
- [59] Texas Instruments: Power Management Lab Kit Boost Experiment Book. 2017, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/ug/ssqu008a/ssqu008a.pdf>
- [60] Texas Instruments: Power Management Lab Kit Buck Experiment Book. 2017, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/ug/ssqu007b/ssqu007b.pdf>
- [61] Texas Instruments: Power Management Lab Kit LDO Experiment Book. 2017, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/ug/ssqu006b/ssqu006b.pdf>

- [62] Texas Instruments: CC110L RF BoosterPack. 2018, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/tool/430B00ST-CC110L>
- [63] Texas Instruments: Low-Power Sub-1 GHz RF Transceiver. 2018, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf>
- [64] Texas Instruments: MSP430FR413x Mixed-Signal Microcontrollers. 2018, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/msp430fr4133.pdf>
- [65] Texas Instruments: Range Estimation for Indoor and Outdoor Rev 1.12. 2018, [Online; navštíveno 16. 5. 2018].
URL https://e2e.ti.com/cfs-file/__key/communityserver-discussions-components-files/660/Range-Estimation-for-Indoor-and-Outdoor-Rev1_5F00_12.xlsx
- [66] Texas Instruments: SimpliciTI Compliant Protocol Stack. 2018, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/tool/SIMPLICITI#descriptionArea>
- [67] Texas Instruments: TXB0108 8-Bit Bidirectional Voltage-Level Translator with Auto-Direction Sensing. 2018, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/txb0108.pdf>
- [68] Texas Instruments: WEBENCH Design Center. 2018, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/design-tools/overview.html>
- [69] TME Czech Republic: Akumulátor PANASONIC NCR18650B. 2018, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <https://www.tme.eu/cz/details/accu-ncr18650b/akumulatory/panasonic/ncr18650b/>
- [70] TME Czech Republic: JST B3B-XH-A. 2018, [Online; navštíveno 19. 5. 2018].
URL <https://www.tme.eu/cz/details/b3b-xh-a/signalove-konektory-raster-250mm/jst/>
- [71] TME Czech Republic: Krystalový rezonátor ILSI 26-HX5F12.5-32.768KHZ. 2018, [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <https://www.tme.eu/cz/details/26-hx5f-32.768k/krystalove-rezonatory-tht/ils/26-hx5f125-32768khz/>
- [72] TME Czech Republic: MOLEX 022011032 5051-03. 2018, [Online; navštíveno 19. 5. 2018].
URL <https://www.tme.eu/cz/details/mx-22-01-1032/signalove-konektory-raster-254mm/molex/022011032-5051-03/>
- [73] TME Czech Republic: Zásuvka TE CONNECTIVITY T4171110005-001. 2018, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <https://www.tme.eu/cz/details/t4171110005-001/zastrcky-a-zasuvky/te-connectivity/>

- [74] TME Czech Republic: Čidlo fotoelektrické PANASONIC NX5-RM7B. 2018, [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <https://www.tme.eu/cz/details/nx5-rm7b/standardni-fotoelektricka-cidla/panasonic/>
- [75] TME Czech Republic: Čidlo fotoelektrické SICK VL180-2P42431. 2018, [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <https://www.tme.eu/cz/details/vl180-2p42431/standardni-fotoelektricka-cidla/sick/>
- [76] TME Czech Republic: Čidlo fotoelektrické SICK WL280-2P2431. 2018, [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <https://www.tme.eu/cz/details/wl280-2p2431/standardni-fotoelektricka-cidla/sick/>
- [77] TRV elektronik – Tomáš Kocáb: Požární sport. [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <http://www.trv-kocab.cz/cs/9-pozarni-sport>
- [78] Valeš, L.: Časomíra, elektronické ukazatele. [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL <http://www.casomiry.com/>
- [79] Vondrák, M.: *Duální digitální časomíra řízená mikrokontrolérem*. Bakalářská práce, Vysoká škola polytechnická Jihlava, Katedra elektrotechniky a informatiky, 2011.
URL <https://is.vspj.cz/bp/get-bp/student/27764/thema/2154>
- [80] Walters, K.; Werner, B.: Introduction to Schottky Rectifiers. 1997, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <https://www.microsemi.com/sites/default/files/micnotes/401.pdf>
- [81] Wikipedie: *Požární sport*. 2017, [Online; navštíveno 9. 1. 2018].
URL https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Po%C5%BE%C3%A1rn%C3%AD_sport&oldid=15465955
- [82] Wikipedie: Stupeň krytí. 2017, [Online; navštíveno 11. 5. 2018].
URL https://cs.wikipedia.org/wiki/Stupe%C5%88_kryt%C3%AD
- [83] X-flame: Startovací pistole 4 kolíková. [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <https://www.x-flame.cz/cz-detail-907104-startovaci-pistole-4-kolikova.html>
- [84] Ye, J.: GPS Time Synchronization. 2015, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.physics.smu.edu/~yejb/GPSPaper.pdf>
- [85] Zhang, D.: AN-1484 Designing A SEPIC Converter. 2017, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://www.ti.com/lit/an/snva168e/snva168e.pdf>
- [86] Český telekomunikační úřad: Všeobecné oprávnění č. VO-R/10/05.2014-3 k využívání rádiových kmitočtů a k provozování zařízení krátkého dosahu. 2014, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL https://www.ctu.cz/cs/download/oop/rok_2014/vo-r_10-05_2014-03.pdf

- [87] Český telekomunikační úřad: VYUŽITÍ RÁDIOVÉHO SPEKTRA. 2018, [Online; navštíveno 14. 5. 2018].
URL <http://spektrum.ctu.cz/>
- [88] Šostý, R.: *Časomíra pro požární sport využívající bezdrátové technologie*. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií, 2014.

Příloha A

Obsah CD

/Zadání/ Zadání diplomové práce (sken).

/Semestrální projekt/ Semestrální projekt – textová část (L^AT_EX), obhajoba.

/DIP - textová část/ Textová část (L^AT_EX), pdf výstupy.

/Datasheety/ Datasheety, katalogové listy některých použitých součástek.

/Hardware/ Hardware jednotlivých modulů – schémata a desky plošných spojů (pro Eagle), seznamy součástek apod.

/Firmware/ Firmware pro mikrokontroléry jednotlivých modulů – projekty pro Code Composer Studio.

/Fotky/ Fotky některých modulů a vnitřního uspořádání časomíry v maximálním rozlišení.

/Ostatní/ Další podpůrný materiál – zachycené obrazovky spektrálního analyzátoru, výpočty v Excelu apod.

Příloha B

Přehled chyb při vyhodnocování signálů ze senzorů

Bez poruchy			
Stav senzoru	A	B	Zjištěna anomálie
deaktivován	0	1	žádná není
aktivován	1	0	žádná není

A přerušen			
Stav senzoru	A	B	Zjištěna anomálie
deaktivován	1	1	Ano
aktivován	1	0	Ne

B přerušen			
Stav senzoru	A	B	Zjištěna anomálie
deaktivován	0	1	Ne
aktivován	1	1	Ano

Oba přerušeny (např. nezapojeno)			
Stav senzoru	A	B	Zjištěna anomálie
deaktivován	1	1	Ano
aktivován	1	1	Ano

A zkratován na zem			
Stav senzoru	A	B	Zjištěna anomálie
deaktivován	0	1	Ne
aktivován	0	0	Ano

B zkratován na zem			
Stav senzoru	A	B	Zjištěna anomálie
deaktivován	0	0	Ano
aktivován	1	0	Ne

Oba zkratovány na zem (např. voda v konektoru)			
Stav senzoru	A	B	Zjištěna anomálie
deaktivován	0	0	Ano
aktivován	0	0	Ano

A přerušen, B zkratován na zem			
Stav senzoru	A	B	Zjištěna anomálie
deaktivován	1	0	Ano – senzor není v klidu
aktivován	1	0	Ne

A zkratován na zem, B přerušen			
Stav senzoru	A	B	Zjištěna anomálie
deaktivován	0	1	Ne
aktivován	0	1	Ne

Tabulka B.1: Přehled hodnot signálů A a B za různých situací

Příloha C

Testovací scénáře, výsledky

C.1 Krátké měření za ideálních podmínek

Účel: Ověření základní funkčnosti časomíry.

C.1.1 Postup

1. Zapnout všechny moduly časomíry.
2. Zkontrolovat, zda byla navázána komunikace.
3. Zkontrolovat, zda proběhla synchronizace hodin.
4. Vytvořit startovací událost (např. stisk tlačítka), tuto událost přenést do čítače nebo jiného měřicího zařízení.
5. Do 1 minuty od startu vytvořit cílovou událost (např. stisk tlačítka), tuto událost přenést do čítače nebo jiného měřicího zařízení.
6. Zkontrolovat časomírou naměřený čas s časem jiného měřicího zařízení (např. čítače).

C.1.2 Výsledek

Časomíra test splnila, dosáhla přesnosti lepší než 0,01 s. Jako jiné měřicí zařízení jsem použil logický analyzátor Saleae. Změřená odchylka byla do 1 ms (nelze přesněji určit kvůli zákmitům z tlačítek).

C.2 Dlouhé měření za ideálních podmínek

Účel: Ověření periodické synchronizace hodin.

C.2.1 Postup

1. Zapnout všechny moduly časomíry.
2. Zkontrolovat, zda byla navázána komunikace.
3. Zkontrolovat, zda proběhla synchronizace hodin.
4. Vytvořit startovací událost (např. stisk tlačítka), tuto událost přenést do čítače nebo jiného měřicího zařízení.
5. Alespoň po 5 minutách od startu vytvořit cílovou událost (např. stisk tlačítka), tuto událost přenést do čítače nebo jiného měřicího zařízení.
6. Zkontrolovat časomírou naměřený čas s časem jiného měřicího zařízení (např. čítače).

C.2.2 Výsledek

Časomíra test splnila, dosáhla přesnosti lepší než 0,01 s. Jako jiné měřicí zařízení jsem použil logický analyzátor Saleae. Dobu od startovní po cílovou událost jsem testoval taky mnohem delší (cca 30 minut). Změřená odchylka byla do 1 ms (nelze přesněji určit kvůli zákmitům z tlačítek). Při tak dlouhém běhu bylo zároveň ověřeno, že hodinový krystal v hlavní jednotce běží správně.

C.3 Dočasné rušení signálu v průběhu měření

Účel: Ověření navrženého komunikačního protokolu.

C.3.1 Postup

1. Zapnout všechny moduly časomíry.
2. Zkontrolovat, zda byla navázána komunikace.
3. Zkontrolovat, zda proběhla synchronizace hodin.
4. Vytvořit startovací událost (např. stisk tlačítka), tuto událost přenést do čítače nebo jiného měřicího zařízení.
5. Nasimulovat dočasné rušení libovolného modulu – např. demontáží antény, nebo přesunutím mimo dosah.
6. Ověřit správnou reakci na výpadek komunikace:
 - Hlavní jednotka bude dále počítat čas pokusu. Bude signalizovat výpadek Ping-Pong zpráv, po určité době výpadek synchronizace.
 - LED zobrazovací panel musí během několika vteřin zhasnout – není žádoucí ukazovat divákům potenciálně neaktuální (neplatnou) informaci. Pozn.: LED panel musí zhasnout i v případě, že problém s komunikací má pouze např. cílový modul.
7. Odstranit příčinu dočasného rušení bezdrátové komunikace.
8. Ověřit správné zotavení časomíry:
 - Hlavní jednotka bude dále počítat čas pokusu. Ping-Pong zprávy by měly být obnoveny během cca 1 s, dále bude následovat případná periodická synchronizace hodin.
 - LED zobrazovací panel po obnovení Ping-Pong zpráv začne ukazovat měřený čas.
9. Vytvořit cílovou událost (např. stisk tlačítka), tuto událost přenést do čítače nebo jiného měřicího zařízení.
10. Zkontrolovat časomírou naměřený čas s časem jiného měřicího zařízení (např. čítače).

C.3.2 Výsledek

Časomíra test splnila. Simuloval jsem výpadky komunikace u jednotlivých modulů, i u více modulů současně. Časomíra i v těchto podmínkách dosáhla přesnosti lepší než 0,01 s. Jako jiné měřicí zařízení jsem použil logický analyzátor Saleae. Změřená odchylka byla do 1 ms (nelze přesněji určit kvůli zákmitům z tlačítek).

C.4 Dočasné rušení signálu během startovací nebo cílové události

Účel: Ověření navrženého komunikačního protokolu.

C.4.1 Postup

1. Zapnout všechny moduly časomíry.
2. Zkontrolovat, zda byla navázána komunikace.
3. Zkontrolovat, zda proběhla synchronizace hodin.
4. Nasimulovat dočasné rušení libovolného modulu – např. demontáží antény, nebo přesunutím mimo dosah.
5. Vytvořit startovací událost (např. stisk tlačítka), tuto událost přenést do čítače nebo jiného měřicího zařízení.
6. Ověřit správnou reakci na výpadek komunikace:
 - Hlavní jednotka bude signalizovat výpadek Ping-Pong zpráv, po určité době výpadek synchronizace. V případě výpadku komunikace mezi hlavní jednotkou a startovacím modulem nebude hlavní jednotka zobrazovat měřený čas, protože jí nepřišla zpráva o startovací události.
 - LED zobrazovací panel bude zhaslý – nebude ukazovat žádný čas.
7. Vytvořit cílovou událost (např. stisk tlačítka), tuto událost přenést do čítače nebo jiného měřicího zařízení.
8. Odstranit příčinu dočasného rušení bezdrátové komunikace.
9. Ověřit správné zotavení časomíry:
 - Hlavní jednotka obdrží zprávy od jednotlivých modulů a zobrazí výsledný čas.
 - Ping-Pong zprávy by měly být obnoveny během cca 1 s, dále bude následovat případná periodická synchronizace hodin.
 - LED zobrazovací panel po obnovení Ping-Pong zpráv zobrazí výsledný čas.
10. Zkontrolovat časomírou naměřený čas s časem jiného měřicího zařízení (např. čítače).

C.4.2 Výsledek

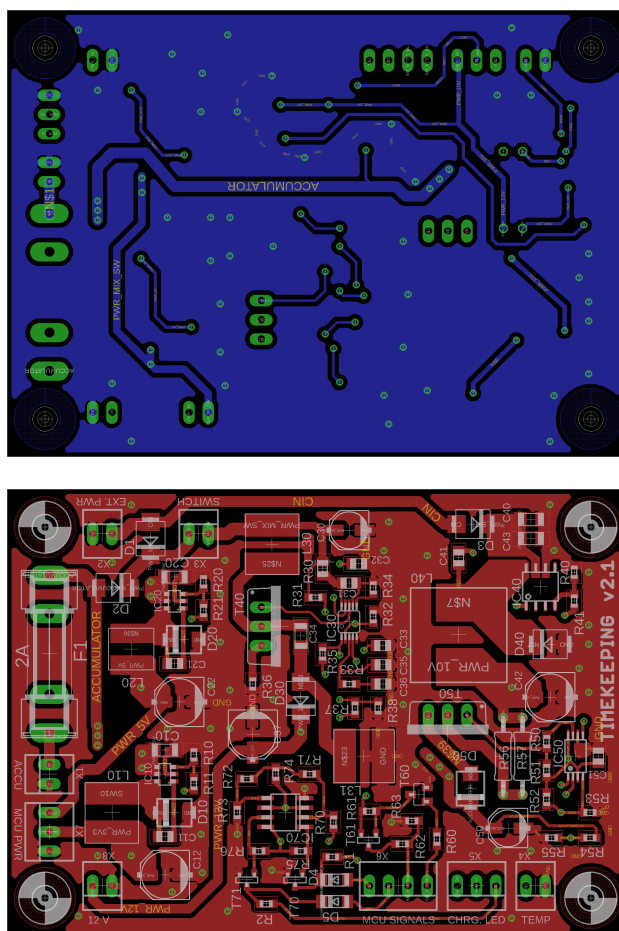
Časomíra test splnila. Simuloval jsem výpadky komunikace u jednotlivých modulů, i u více modulů současně. Časomíra i v těchto podmínkách dosáhla přesnosti lepší než 0,01 s. Jako jiné měřicí zařízení jsem použil logický analyzátor Saleae. Změřená odchylka byla do 1 ms (nelze přesněji určit kvůli zákmitům z tlačítek).

Tento poslední test lze modifikovat a simulovat tak výpadky komunikace např. pouze před cílovou událostí apod. Je možné taky simulovat více různých výpadků komunikace během jednoho měření apod. Provedl jsem i takové testy, všechny s pozitivním výsledkem.

Příloha D

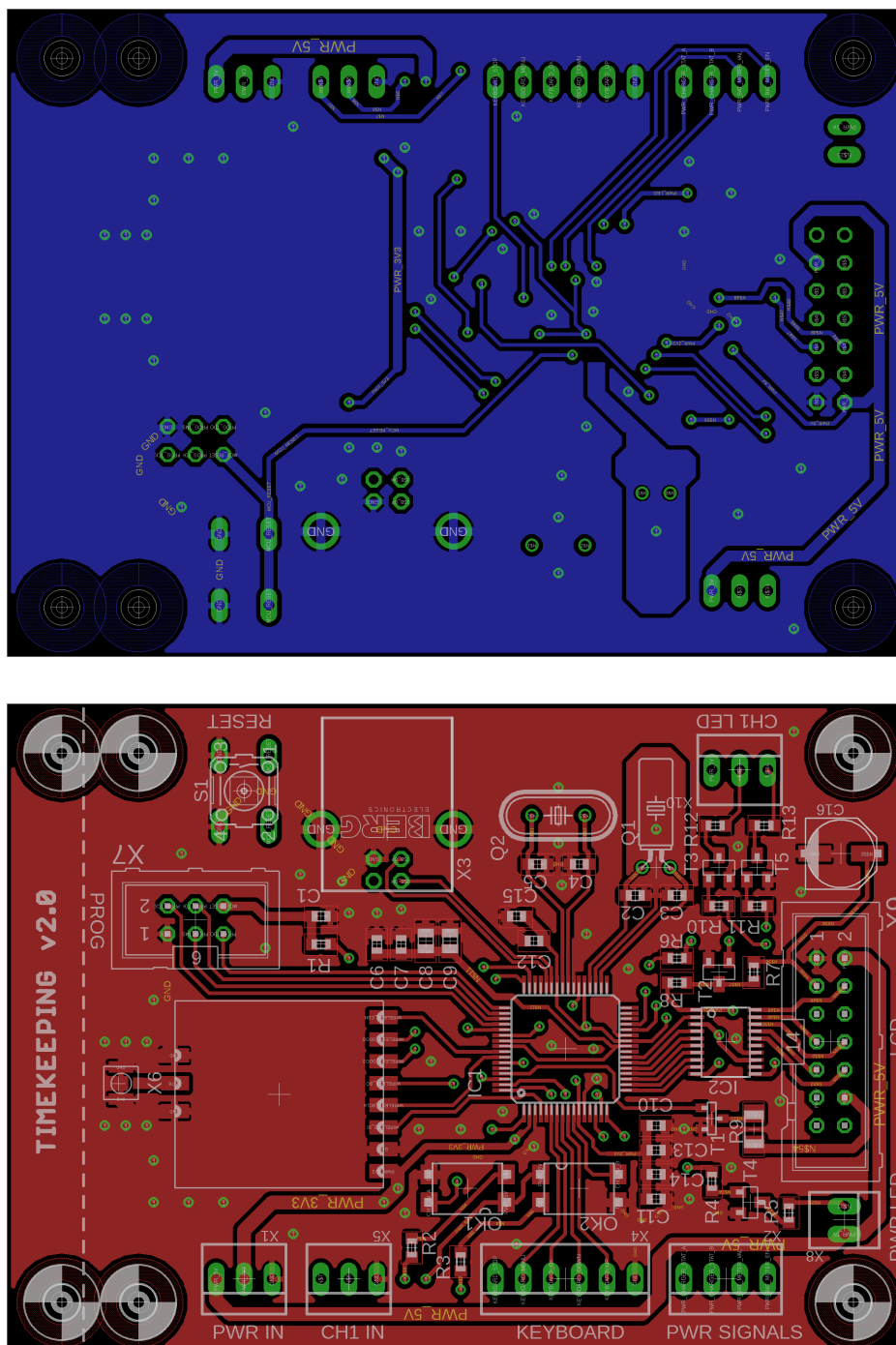
Schémata, desky plošných spojů

D.1 Jednotná napájecí a nabíjecí deska – první verze



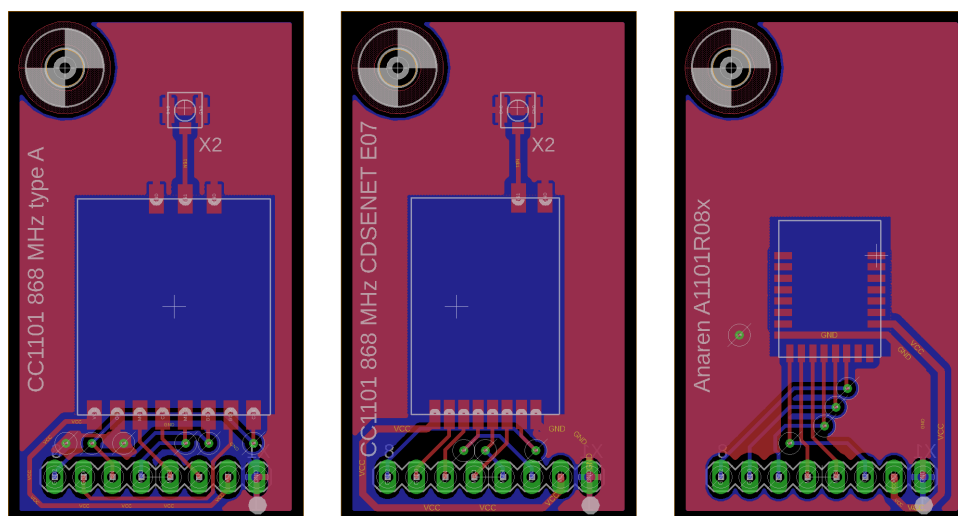
Obrázek D.1: Jednotná napájecí a nabíjecí deska (první verze) – DPS, měřítko 1:1

D.2 Hlavní jednotka – první verze



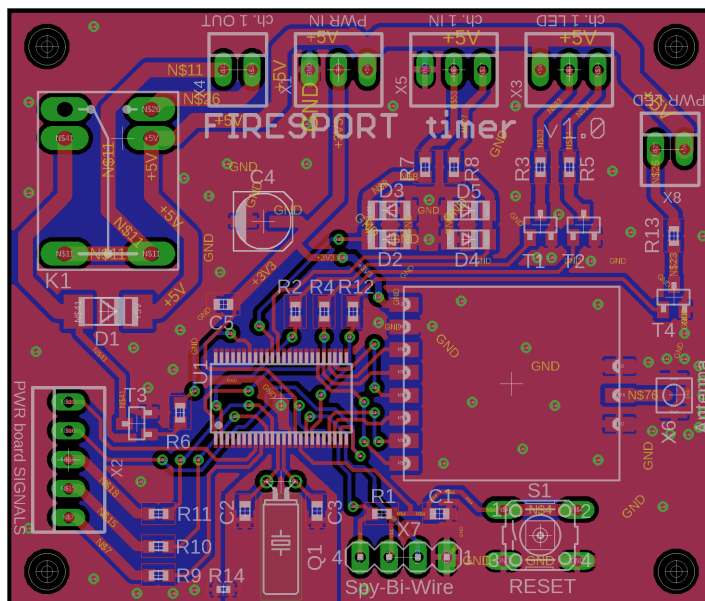
Obrázek D.2: Hlavní jednotka (první verze) – DPS, měřítko 1,5:1

D.3 Mezidesky bezdrátových modulů

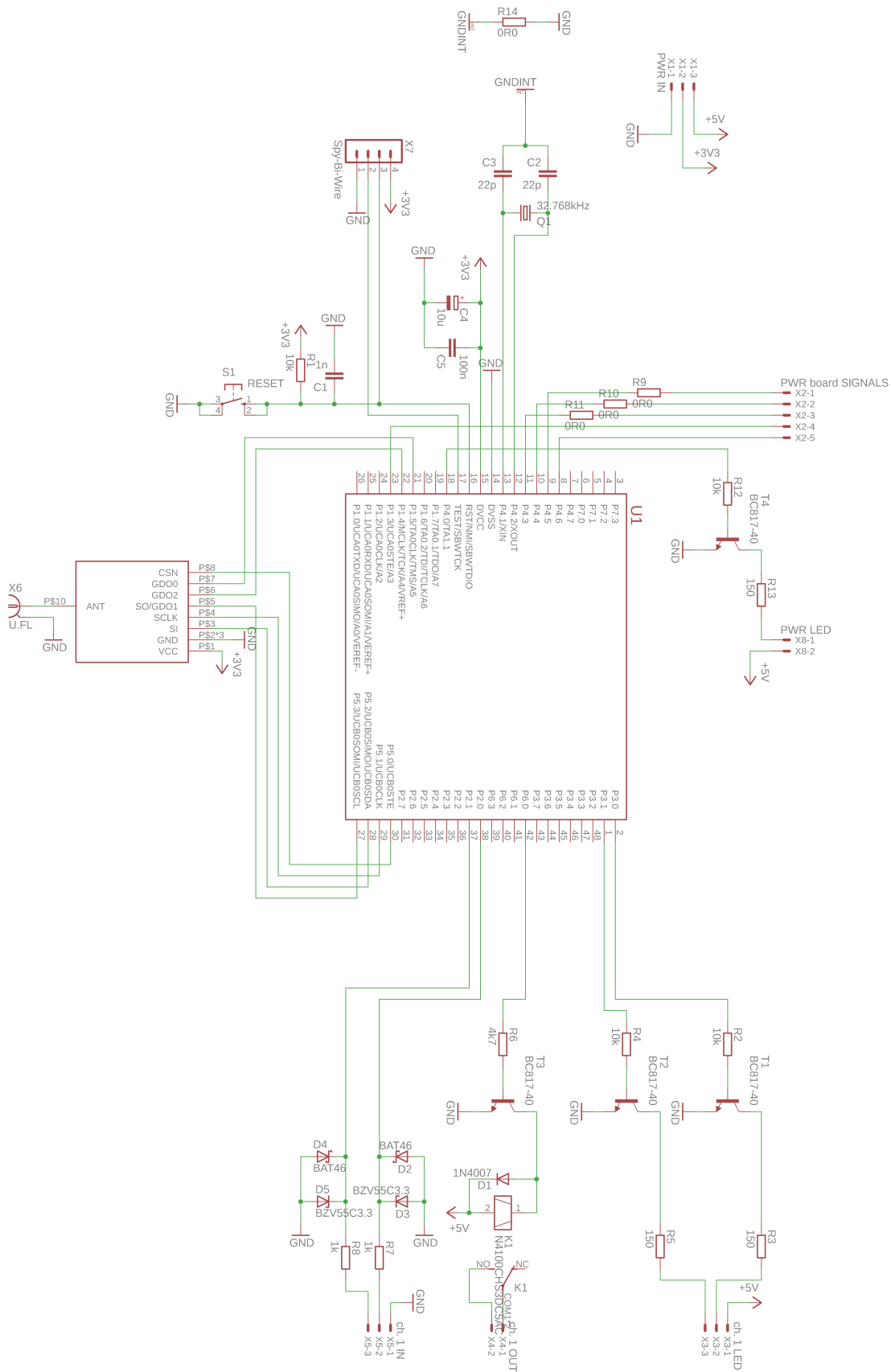


Obrázek D.3: Mezidesky bezdrátových modulů – 3 DPS, měřítko 1,5:1

D.4 Cílový (resp. periferní) modul – první verze

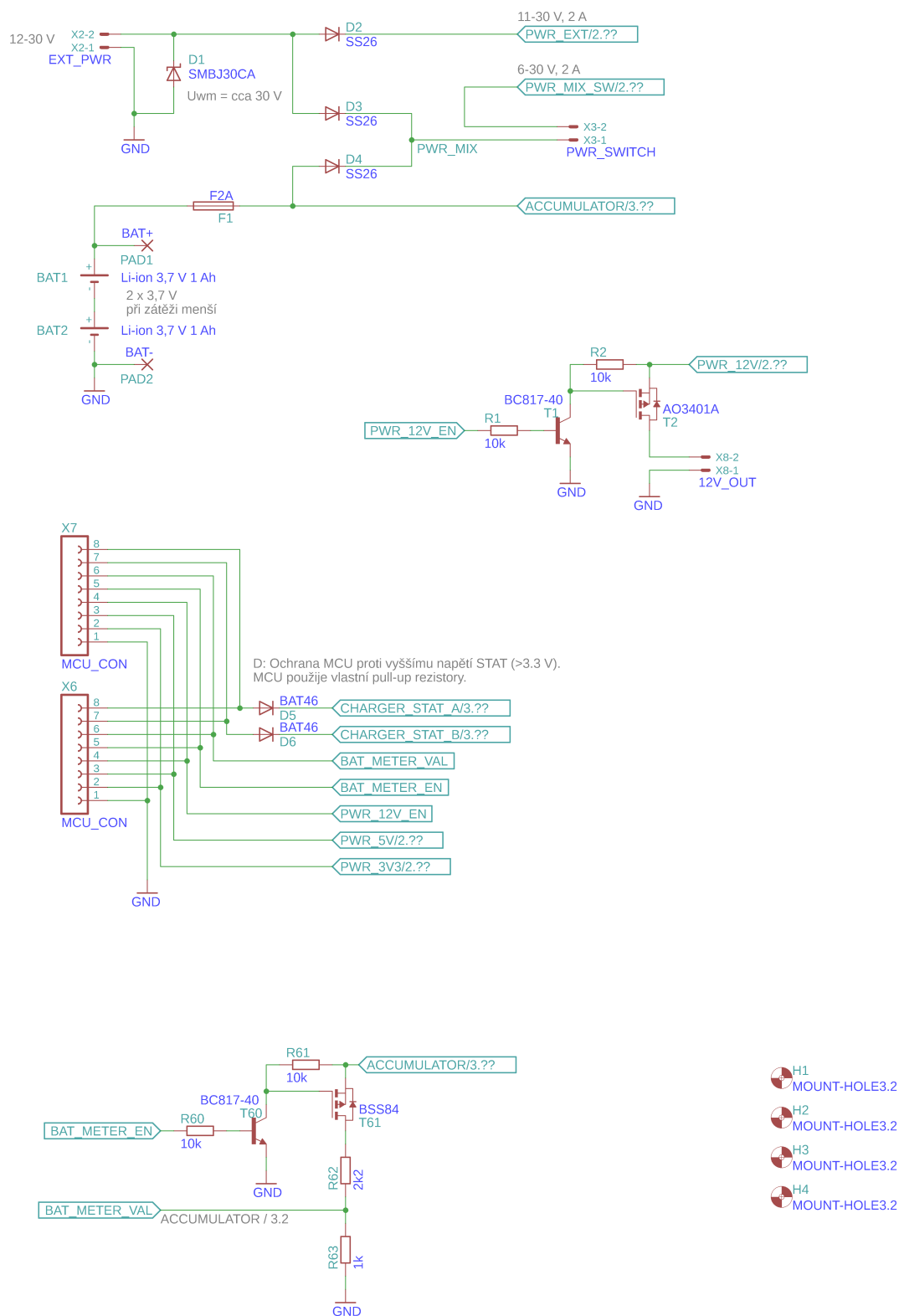


Obrázek D.4: Cílový (resp. periferní) modul (první verze) – DPS, měřítko 1,5:1

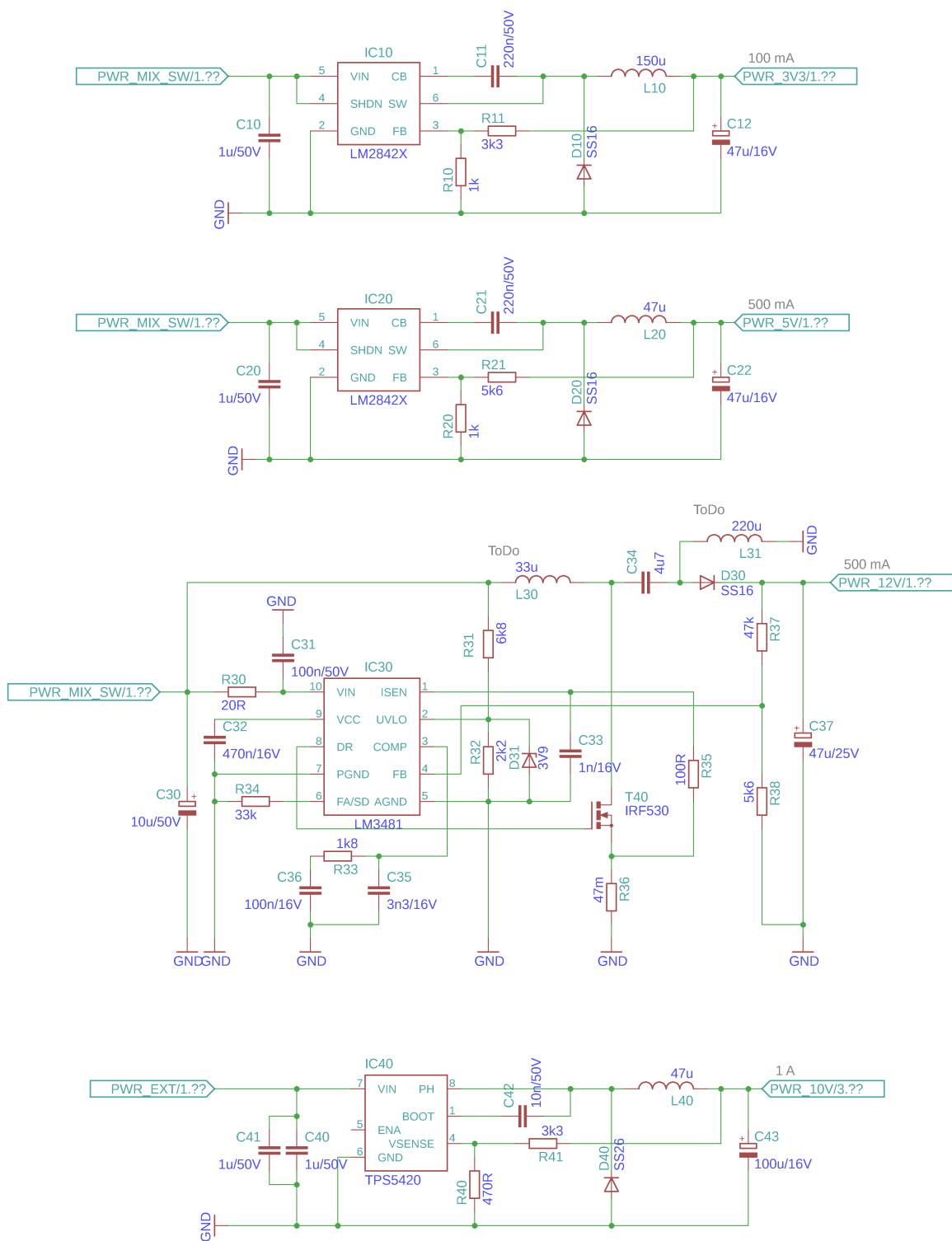


Obrázek D.5: Cílový (resp. periferní) modul (první verze) – schéma

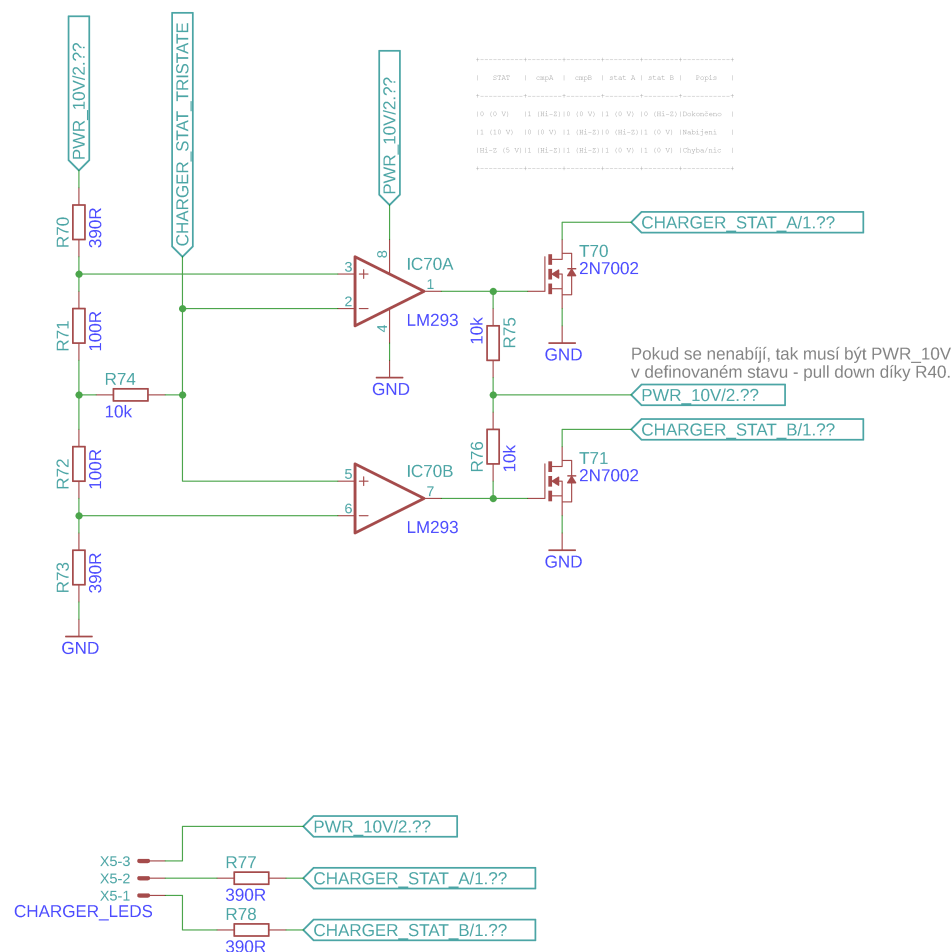
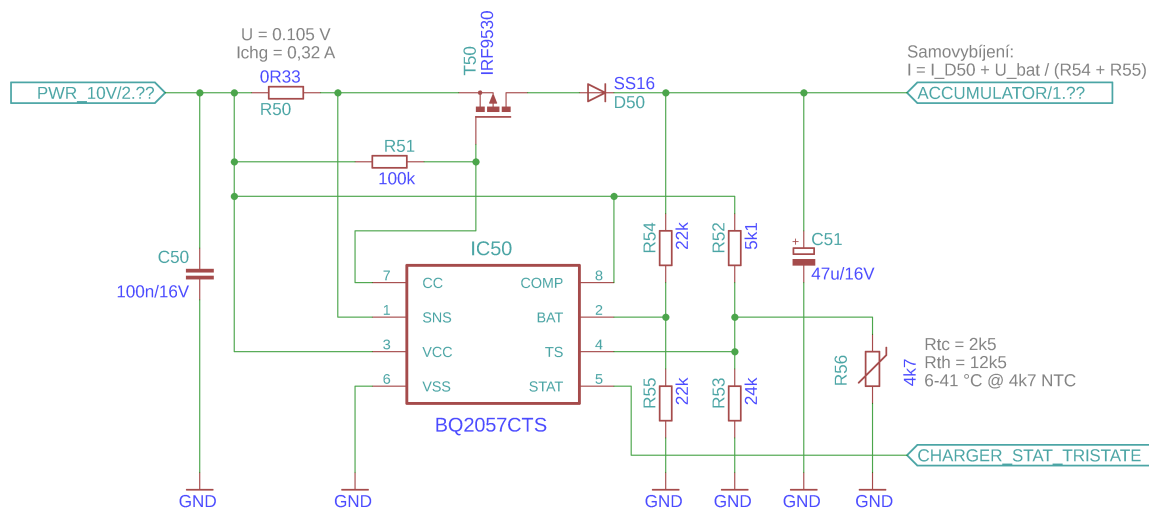
D.5 Jednotná napájecí a nabíjecí deska – druhá verze



Obrázek D.6: Jednotná napájecí a nabíjecí deska (druhá verze) – schéma 1/3

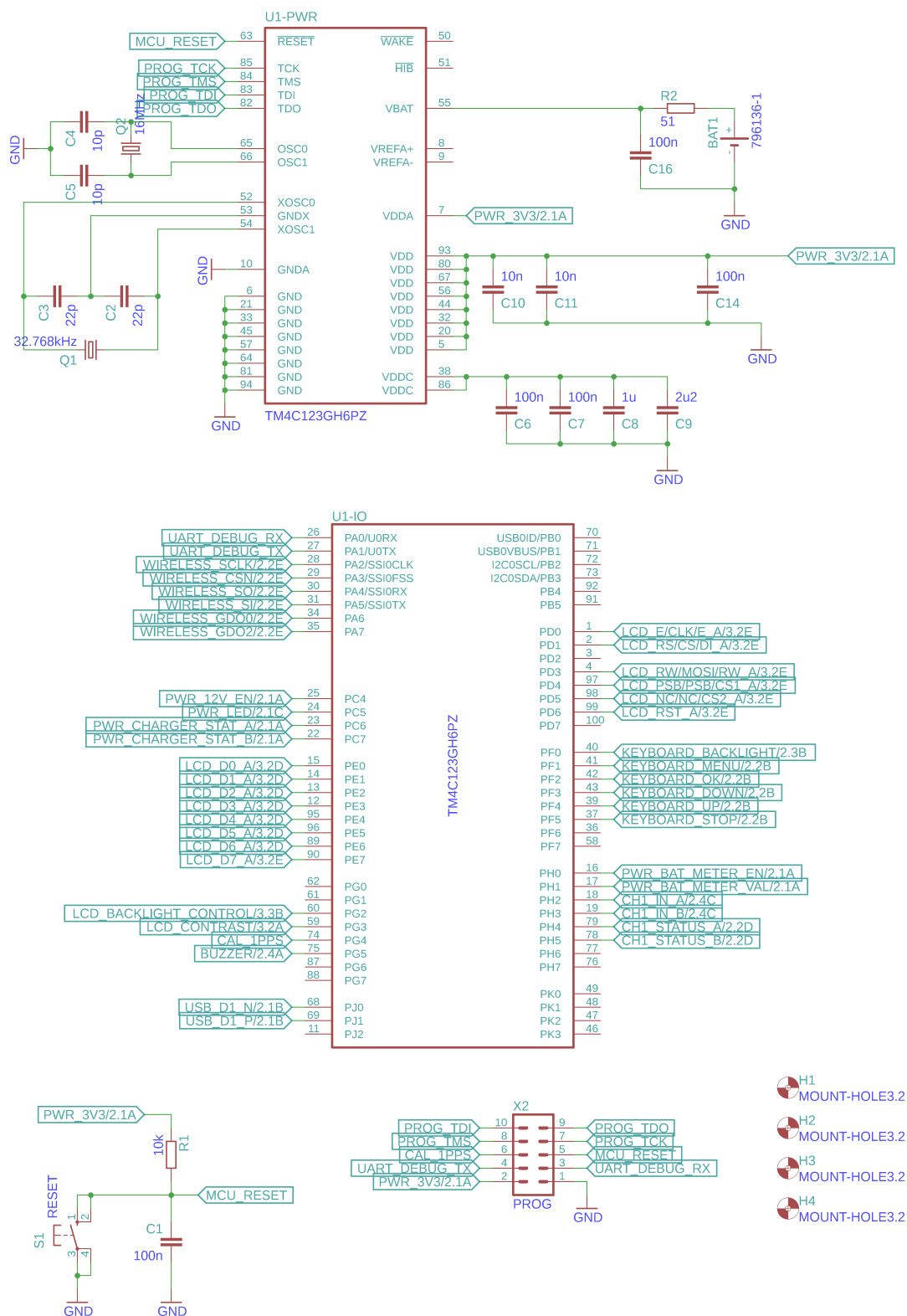


Obrázek D.7: Jednotná napájecí a nabíjecí deska (druhá verze) – schéma 2/3

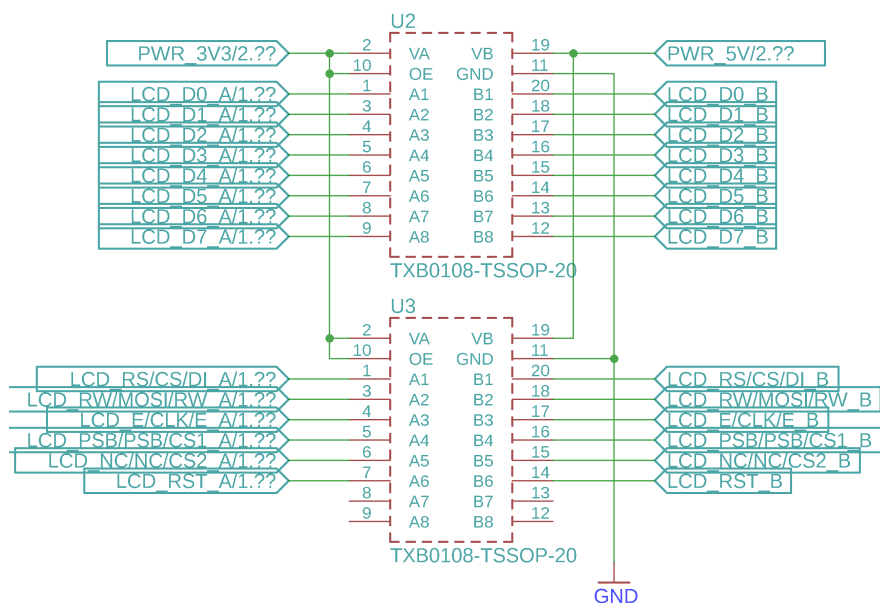
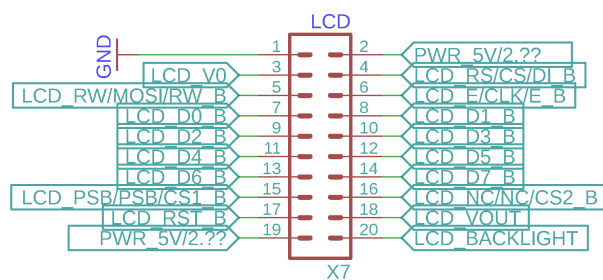
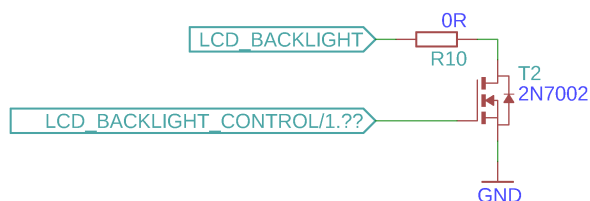
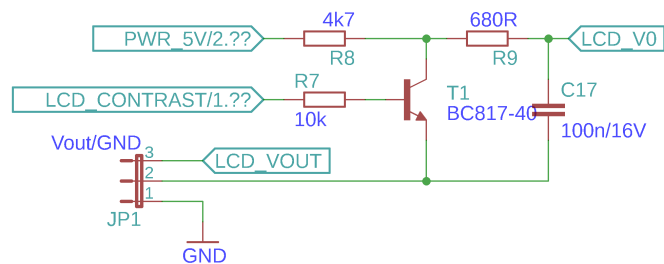


Obrázek D.8: Jednotná napájecí a nabíjecí deska (druhá verze) – schéma 3/3

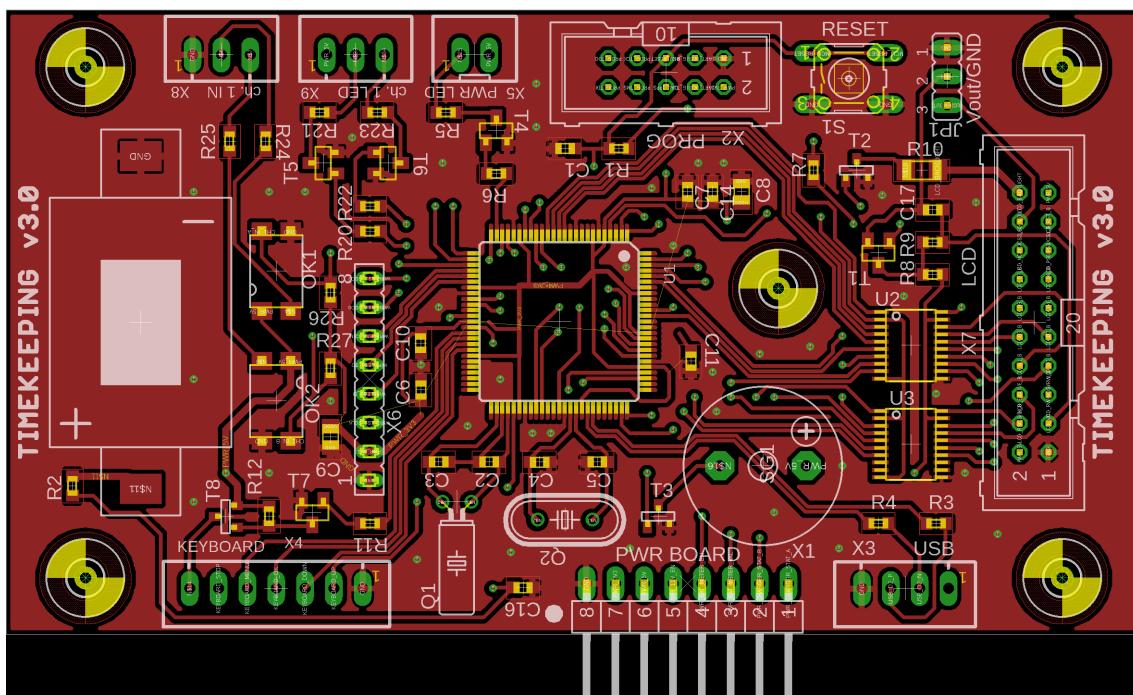
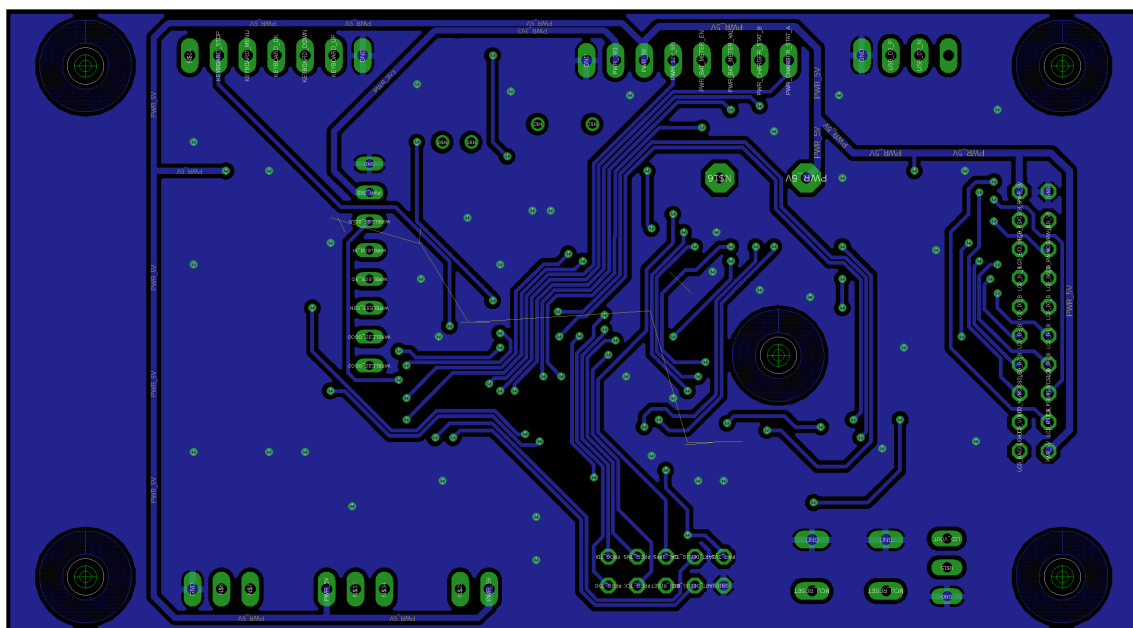
D.6 Hlavní jednotka – druhá verze



Obrázek D.10: Hlavní jednotka (druhá verze) – schéma 1/3

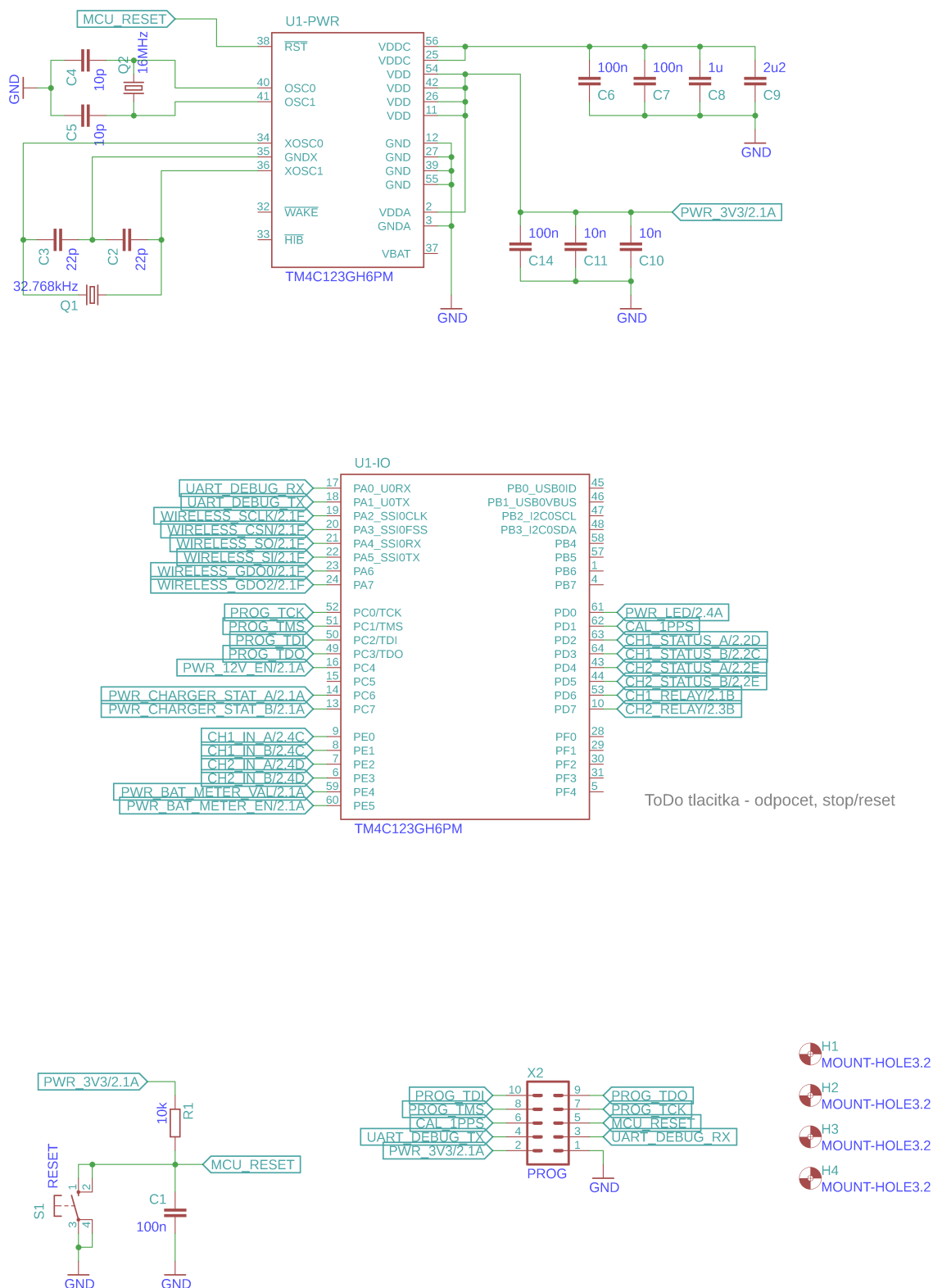


Obrázek D.12: Hlavní jednotka (druhá verze) – schéma 3/3

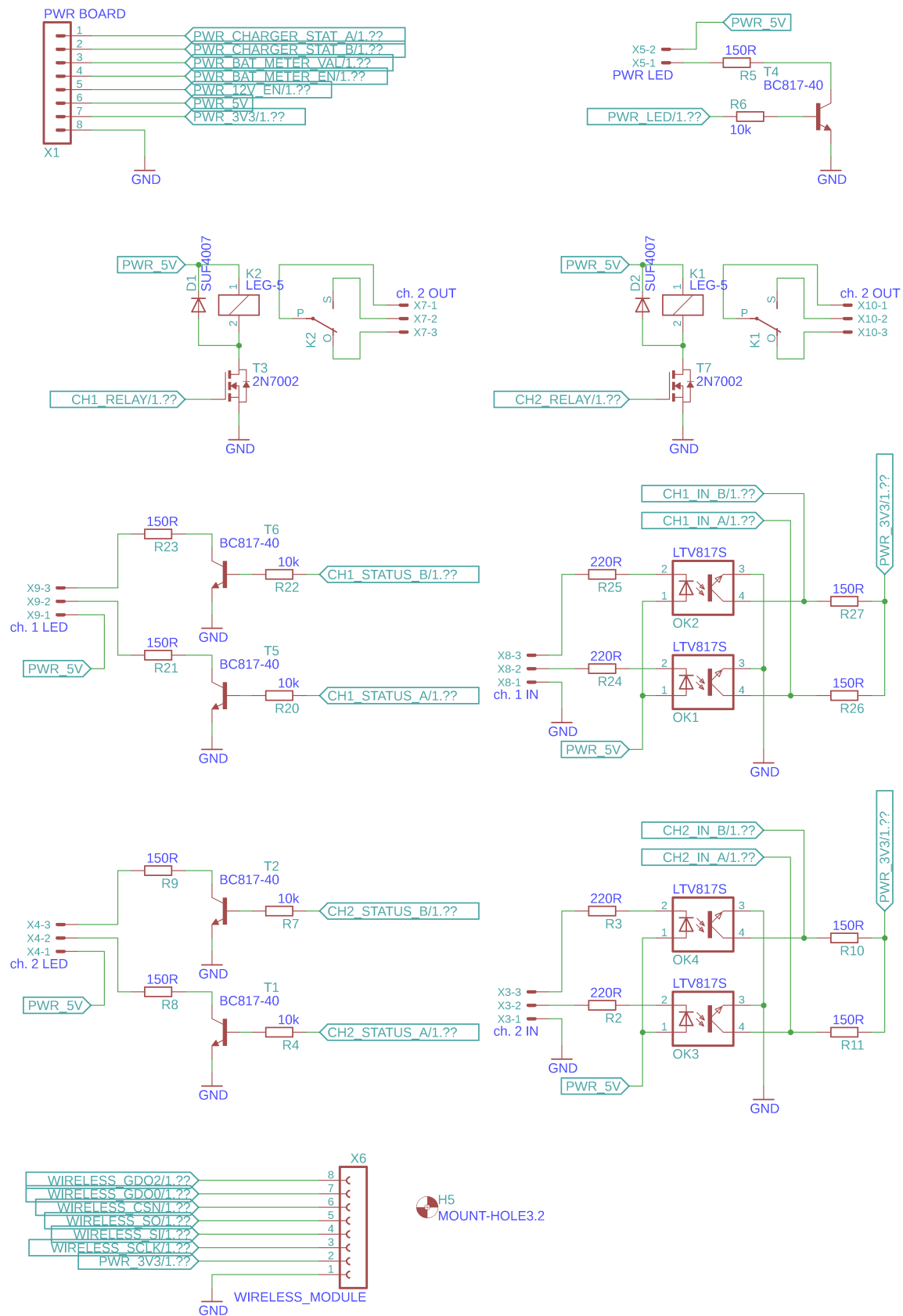


Obrázek D.13: Hlavní jednotka (druhá verze) – DPS, měřítko 1,5:1

D.7 Periferní modul – druhá verze

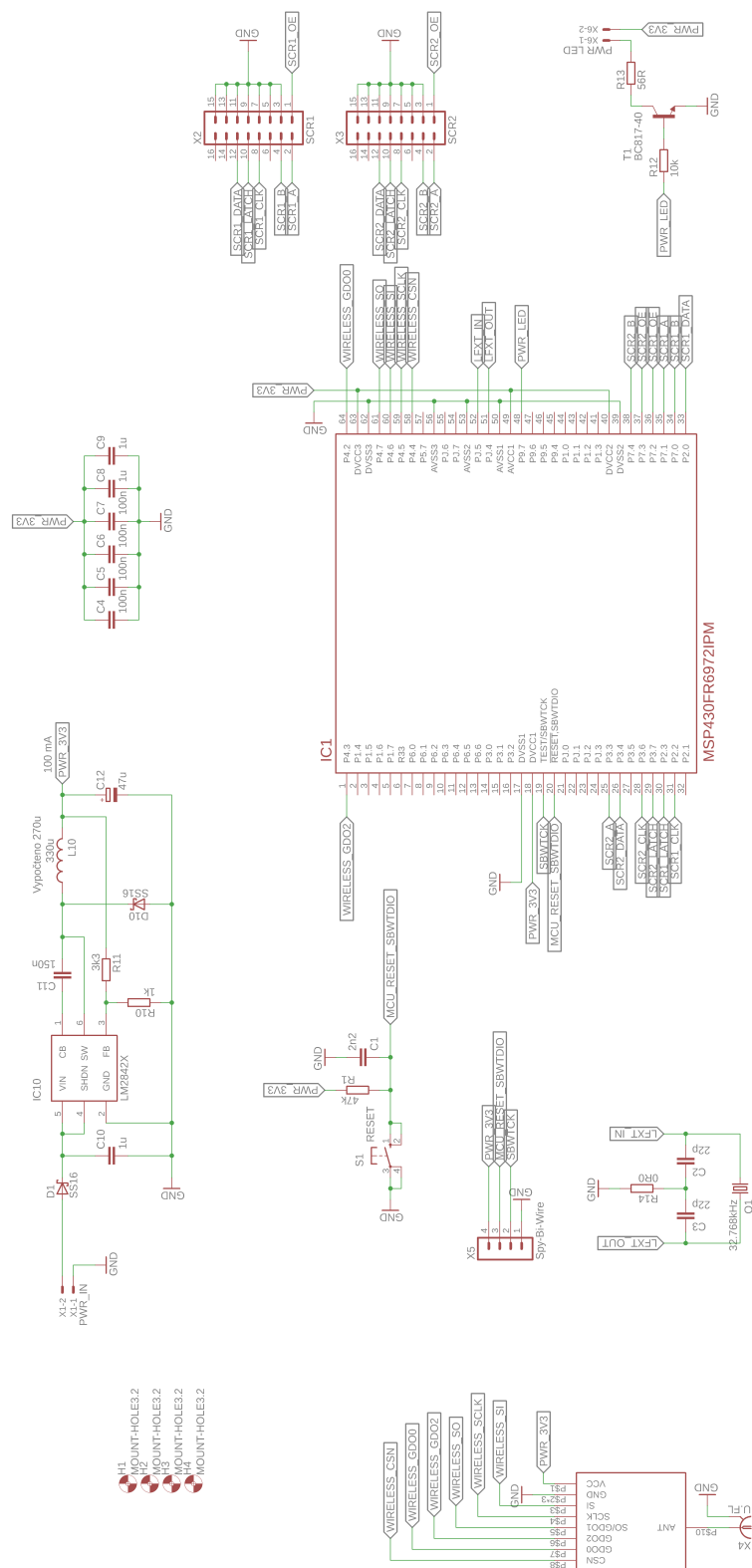


Obrázek D.14: Periferní modul (druhá verze) – schéma 1/2

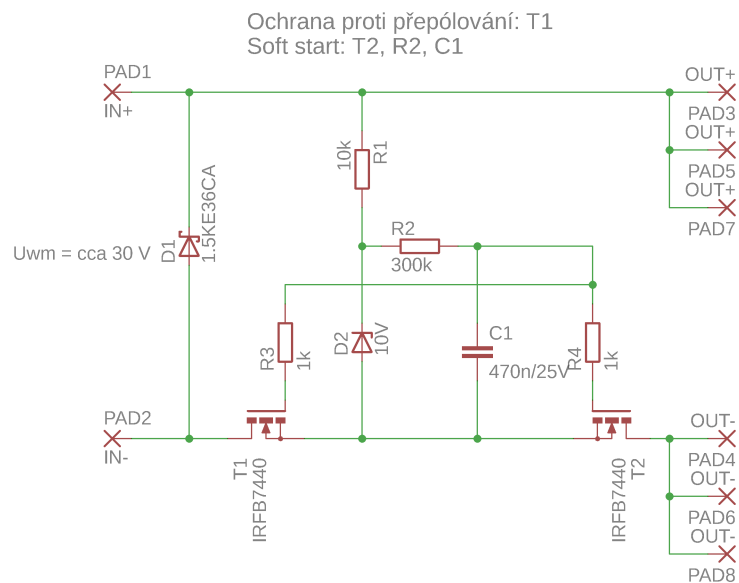


Obrázek D.15: Periferní modul (druhá verze) – schéma 2/2

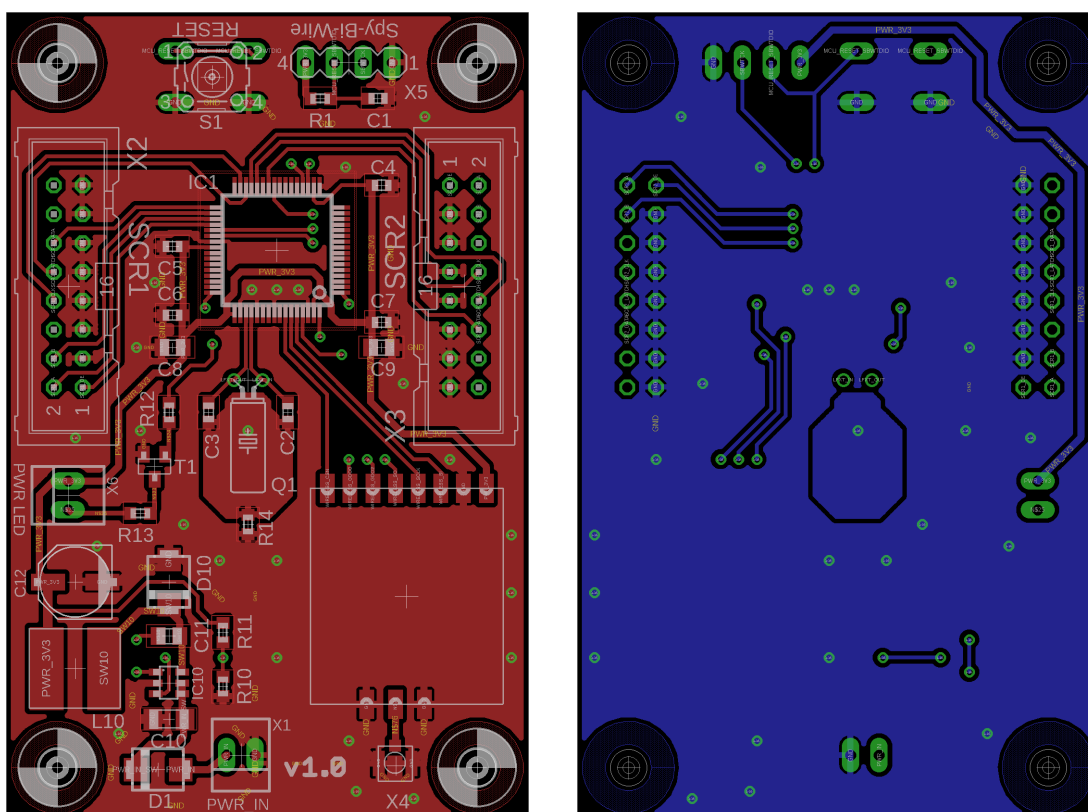
D.8 LED zobrazovací panel



Obrázek D.16: LED zobrazovací panel – schéma



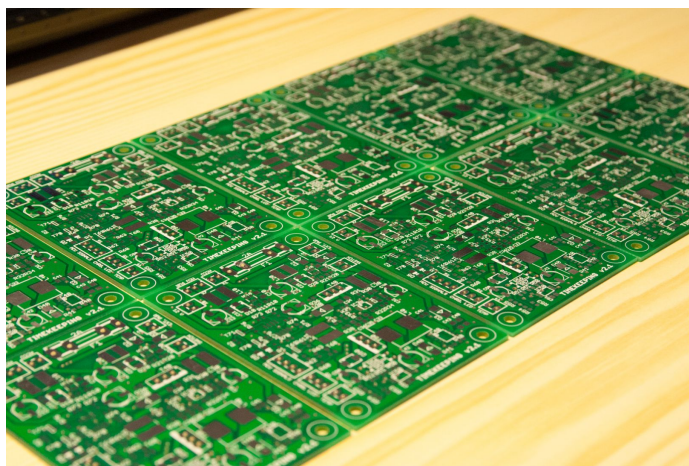
Obrázek D.17: LED zobrazovací panel – schéma ochrany napájení



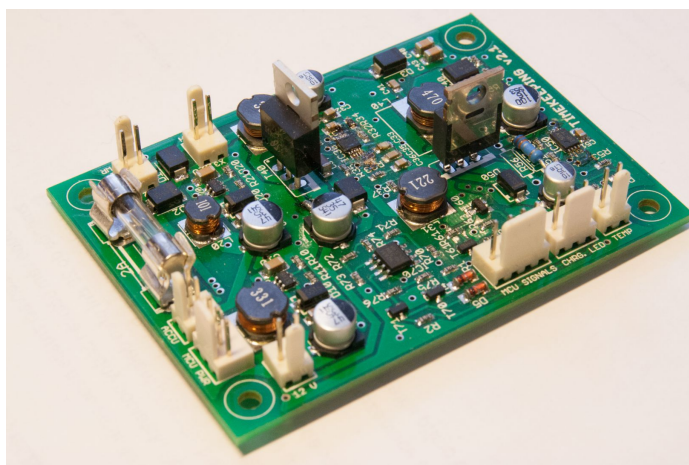
Obrázek D.18: LED zobrazovací panel – DPS, měřítko 1,5:1

Příloha E

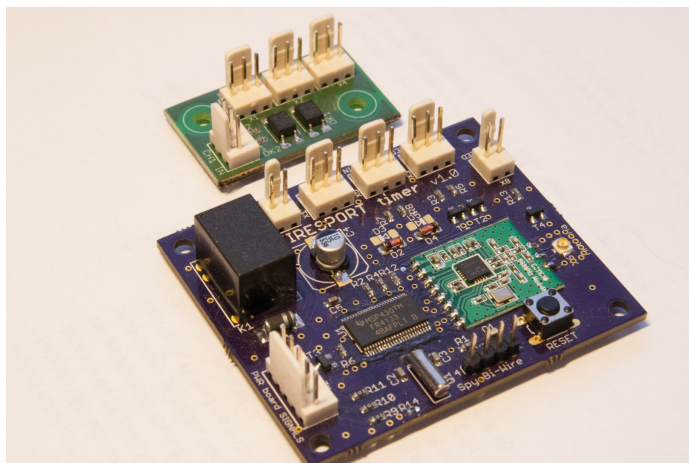
Fotky hotového prototypu



Obrázek E.1: DPS jednotné napájecí desky před osazením



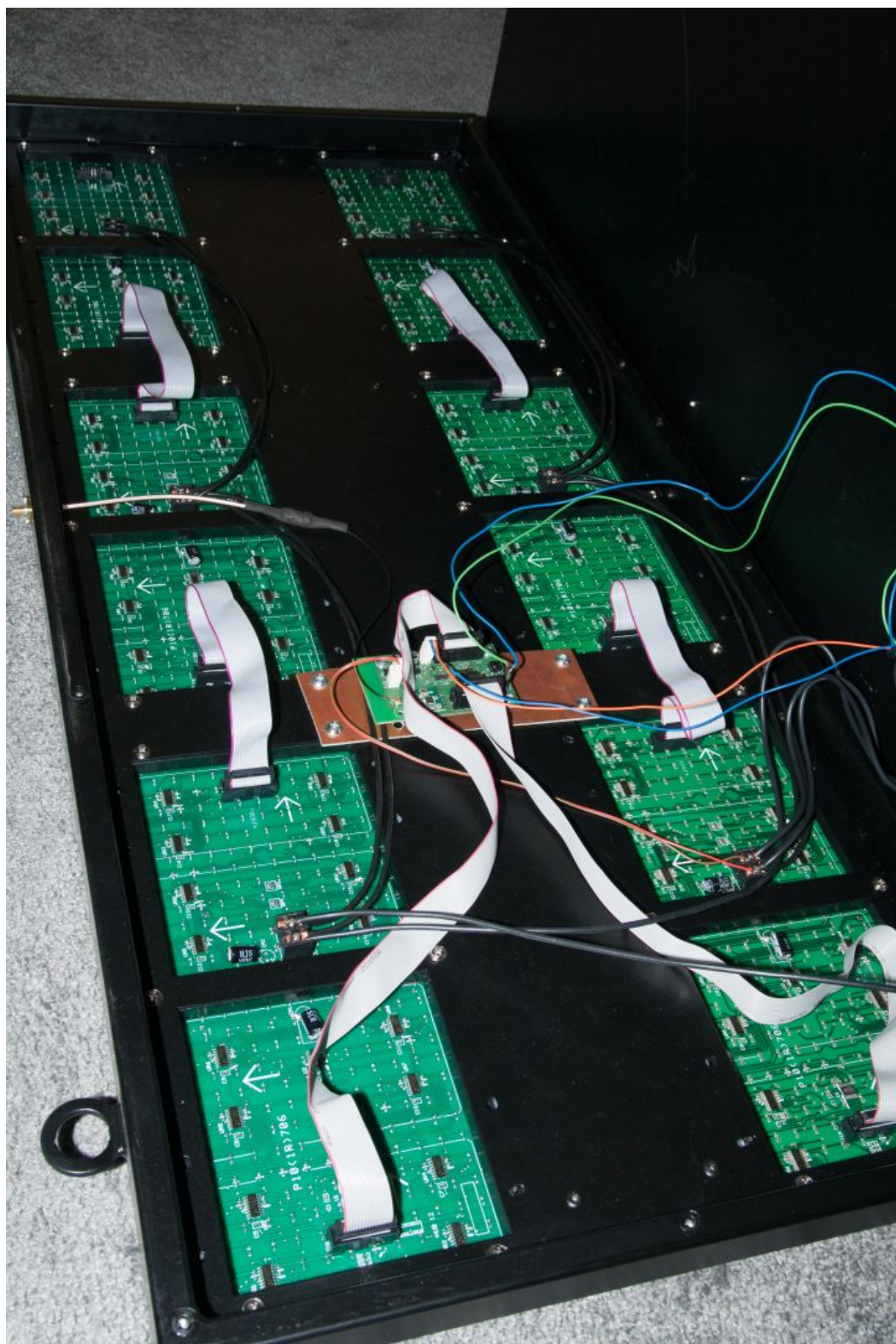
Obrázek E.2: Osazená DPS jednotné napájecí a nabíjecí desky



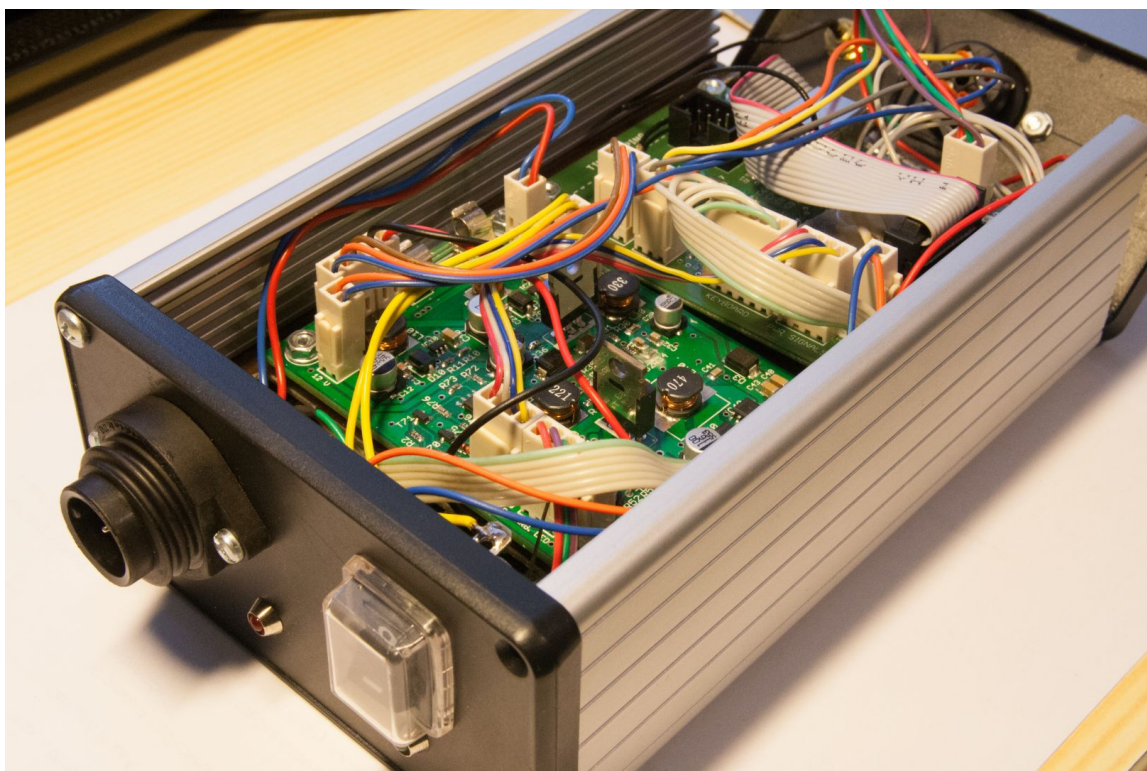
Obrázek E.3: Osazené DPS periferního (cílového) modulu a ochrany vstupů



Obrázek E.4: Zobrazovací panel a hlavní jednotka prototypu časomíry



Obrázek E.5: Vnitřní uspořádání zobrazovacího panelu



Obrázek E.6: Vnitřní uspořádání hlavní jednotky

Příloha F

Plakát Excel@FIT

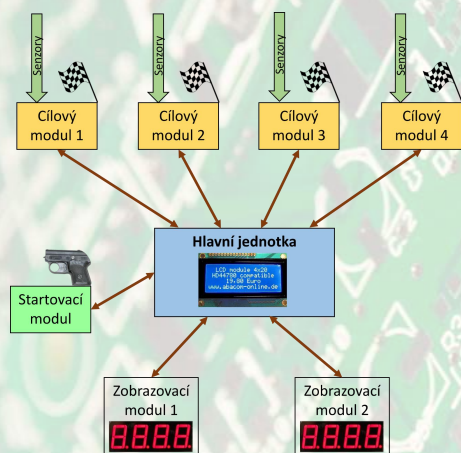
#52

Spolehlivá bezdrátová časomíra (nejen) pro požární sport

Tomáš Pelka

Motivace, cíle

- Nahrazení dlouhých (100 m) kabelů bezdrátovou komunikací
- Použití pro trénink i soutěže
- Krátká doba montáže zařízení (do 5 minut)



Modulární konstrukce

- Hlavní jednotka
 - Komunikační uzel
 - LCD display (nyní 4x20 znaků)
 - Ovládací tlačítka
 - Možnost připojit PC (přes USB)
 - Vestavěný akumulátor
- Univerzální cílové moduly
 - Vodotěsné provedení (IP 67) včetně konektorů
 - Vestavěný akumulátor
 - Připojení různých senzorů
 - 12 V Step-Up měnič pro některé senzory
 - Výstup na signalizaci (relé)
- Startovací modul
 - Může být integrován v hlavní jednotce
 - Připojení různých senzorů (mechanické spínače, mikrofon, optická brána)
 - Vodotěsné provedení (IP 67) včetně konektorů
- Zobrazovací moduly
 - Velkoplošné LED panely, složeno z bloků 16x32 cm
 - Možnost zobrazit text i grafiku, jednobarevné
 - Výborná čitelnost na přímém slunci
 - Napájení 12 – 30 V přímo, jinak přes adaptér

Technické řešení

- Přesnost měření 0,01 s
- Synchronizace hodin
 - Prozkoumány různé algoritmy (NTP, SNTP, RBS, PTP - IEEE 1588)
 - Navržen vlastní algoritmus (vychází z SNTP)
 - Naměřena přesnost ve 100 μ s
 - Četnost synchronizace ovlivněna krystalem
- Bezdrátová komunikace
 - 868 MHz
 - Dosah >100 m (experimentálně ověřeno)
- Napájení, nabíjení
 - Provoz na vestavěné akumulátory (Li-ion)
 - Nabíjení možné za provozu
 - Napájecí napětí 12 – 30 V

Excel@FIT 2016



Obrázek F.1: Plakát z konference Excel@FIT 2016 [36]